e

$$i_1 - i_2 = i_1 \sqrt{3} = i_2 \sqrt{3}$$

será

$$P = U_3 (i_1 - i_2) = u_1 \sqrt{3} \times i_1 \sqrt{3} = 3\, u_1\, i_1$$

ou, entrando em conta com o ângulo de decalagem φ,

$$P = U_3 (i_1 - i_2) \cos\varphi = u_1 \sqrt{3} \times i_1 \sqrt{3} \cos\varphi = \\ = 3 u_1 i_1 \cos\varphi$$

Um contador desta natureza só é susceptível de se empregar nas condições já enunciadas, isto é, de um equilibrio rigoroso das tensões, e sob certas reservas, visto prestar-se fàcilmente a fraudes, como é óbvio, se examinarmos atentamente o esquema das suas ligações.

Vamos passar ao exame do terceiro grupo de equações que permitem a medida da potência e energia eléctrica em sistemas trifásicos.

Partiu-se da equação

$$3P = i_1 (U_3 - U_2) + i_2 (U_1 - U_3) + i_3 (U_2 - U_1)$$

Desta equação tirámos as seguintes:

$$P = U_1 (i_2 - i_3) = U_2 (i_3 - i_1) = U_3 (i_1 - i_2)$$
$$3P = (U_1 - U_2)(i_1 - i_3) + (U_1 - U_3)(i_2 - i_1)$$
$$3P = (U_1 - U_2)(i_2 - i_3) + (U_2 - U_3)(i_2 - i_1)$$
$$3P = (U_2 - U_3)(i_3 - i_1) + (U_1 - U_3)(i_2 - i_3)$$

Qualquer destas equações três últimas equações é equivalente, e representam a permutação das ligações circulares que se podem fazer com as fases do respectivo sistema trifásico.

Vejamos a primeira equação:

$$3P = i_1 (U_3 - U_2) + i_2 (U_1 - U_3) + i_3 (U_2 - U_1)$$

A realização de um tal método de medida só é susceptível em contadores de energia ou em watímetros de indução.

Esta equação correspondente ao diagrama vectorial representado na fig. 30.

Como sabemos, temos que

$$U_3 = u_1 - u_2$$
$$U_2 = u_3 - u_1$$
$$U_1 = u_2 - u_3$$

Além disso

$$U_3 - U_2 = U_3 \sqrt{3} = 3 u_1$$
$$U_1 - U_3 = U_1 \sqrt{3} = 3 u_2$$
$$U_2 - U_1 = U_2 \sqrt{3} = 3 u_3$$

A um diagrama vectorial desta ordem corresponderá pràticamente a seguinte montagem representada na fig. 31.

Isto equivale a ter as três bobinas de tensão ligadas entre si em triângulo e entre cujos vértices existe a tensão composta do sistema estrelado, e então a montagem poder-se-á representar esquemàticamente da forma como está indicada na fig. 32.

Para a realização de um tal método de método de medida em contadores ou watímetros de indução torna-se necessário satisfazer a condição já inumerada, isto é, que seja

$$\operatorname{sen}\psi = \cos\varphi$$

sendo ψ o ângulo que os fluxos fazem entre si. Já sabemos que quando $\varphi = 0$, o ângulo $\psi = 90°$.

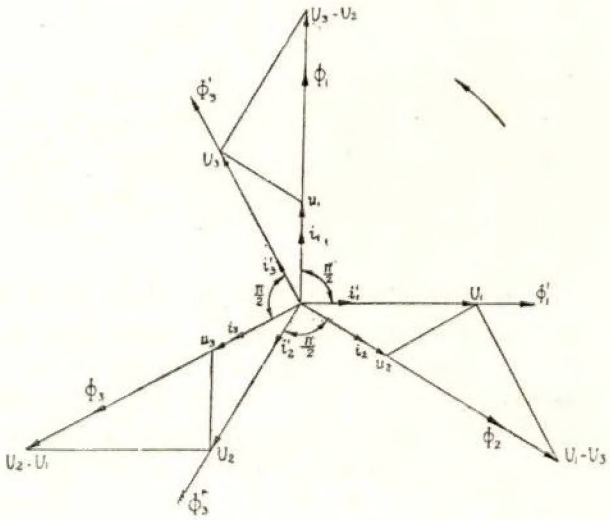


Fig. 30

Para que esta condição neste método seja realizável é necessário que as correntes que circulam nas respectivas bobinas de tensão estejam decalados de um ângulo tal que os fluxos Φ'_1, Φ'_2 e Φ'_3 façam um ângulo de 90° com Φ_1, Φ_2 e Φ_3 devidos às correntes que passam nas bobinas série, quando não ha reactância no circuito. Vejamos o caso do grupo medidor W_1 e o dêste generalizamos aos restantes grupos. Assim, êste grupo acha-se montado nas seguintes condições (fig. 31 e 32): a bobina de tensão está em derivação sôbre as fases u_1 e u_2 e a bobina de corrente, montada em série na fase u_1 e é percorrida pela corrente i_1. O fluxo

Φ_1 devido à corrente i_1 está em fase com esta corrente. Logo, o fluxo Φ'_1 devido à corrente i'_1 da bobina de tensão deverá estar em quadratura com fluxo Φ_1. Nestas condições a corrente i'_1 deverá estar decalada, não de 90° sôbre a tensão composta aos bornes da bobina, mas fazendo um ângulo de 120° sôbre a respectiva tensão U_3, ficando em quadratura com a tensão estrelada u_1, fig. 30, e assim fica realizada a condição acima indicada de $\operatorname{sen}\psi = \cos\varphi$.

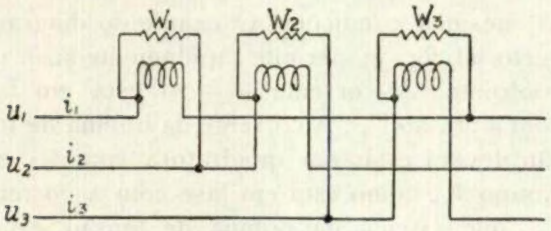


Fig. 31

Nestas condições Φ'_1 fica realmente decalado de 90° sôbre a tensão $(U_3 - U_2)$. O mesmo acontece com os dois grupos restantes, como é é fácil de ver examinando o diagrama vectorial da fig. 30.

Como

$$3\,P = i_1\,(U_3 - U_2) + i_2\,(U_1 - U_3) + i_3\,(U_2 - U_1)$$

e sendo

$$U_3 - U_2 = U_3\sqrt{3};\ U_1 - U_3 = U_1\sqrt{3};\ U_2 - U_1 = U_2\sqrt{3}$$

teremos

$$3\,P = U_3\,i_1\sqrt{3} + U_1\,i_2\sqrt{3} + U_2\,i_3\sqrt{3}$$

o que quere dizer que as bobinas de corrente terão que criar um campo correspondente a um fluxo gerado por uma corrente igual a $i\sqrt{3}$, pelo que se terá que reforçar o número de espiras de cada um dos grupos de bobinas de corrente na proporção do factor $\sqrt{3}$.

Vejamos agora a outra modalidade da execução dêste método de medida e que corresponde ao grupo de fórmulas:

$$3\,P = (U_1 - U_2)\,(i_1 - i_3) + (U_1 - U_3)\,(i_2 - i_1) = (U_2 - U_1)\,(i_3 - i_1) + (U_3 - U_1)\,(i_1 - i_2)$$

$$3\,P = (U_1 - U_2)\,(i_2 - i_3) + (U_2 - U_3)\,(i_2 - i_1) = (U_1 - U_2)\,(i_2 - i_3) + (U_3 - U_2)\,(i_1 - i_2)$$

$$3\,P = (U_2 - U_3)\,(i_3 - i_1) + (U_1 - U_2)\,(i_2 - i_3) = (U_3 - U_2(i_1 - i_3) + (U_2 - U_1)\,(i_3 - i_2)$$

A realização prática desta modalidade é mais empregada em contadores do que a primeira que acabámos de desenvolver. Para tratar do caso basta considerar, a segunda fórmula, por exemplo, e depois generalizarmos o caso às outras duas fórmulas visto que qualquer delas se equivale.

Seja, pois, a fórmula

$$3\,P = (U_1 - U_2)\,(i_2 - i_3) + (U_3 - U_2)\,(i_1 - i_2)$$

Vectorialmente, teremos o diagrama, representado na fig. 33. Nêle estão expressas as posições dos vectores relativos às tensões $(U_1 - U_2)$ e $(U_3 - U_2)$ e às respectivas intensidades $(i_2 - i_3)$ e $(i_1 - i_2)$.

Para melhor se compreender o diagrama vectorial vamos ver como se executa a montagem dos grupos watimétricos de um contador ou watímetro de indução, baseados nesta modalidade do método de medida.

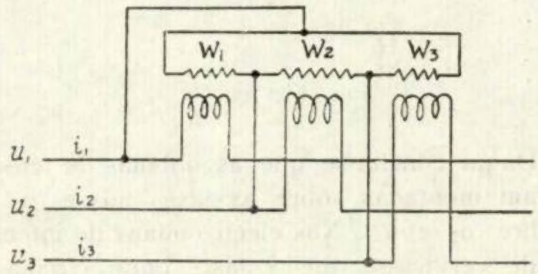


Fig. 32

Ora nós temos

$$3P = (U_1 - U_2)\,(i_2 - i_3) + (U_2 - U_3)\,(i_2 - i_1) = (U_2 - U_1)\,(i_3 - i_2) + (U_3 - U_2)\,(i_1 - i_2)$$

Mas, como a montagem tem que ser feita com as tensões reais da rêde, que são as tensões estreladas das fases ou as suas compostas, é a elas que se têm de recorrer.

No diagrama da fig. 33 verificamos que

$$U_3 - U_2 = U_3\sqrt{3}$$

e

$$U_1 - U_2 = U_1\sqrt{3}$$

Logo, a fórmula transforma-se na seguinte:

$$3P = (U_1 - U_2)(i_2 - i_3) + (U_3 - U_2)(i_1 - i_2) =$$
$$= U_1\sqrt{3}\,(i_2 - i_3) + U_3\sqrt{3}\,(i_1 - i_2)$$

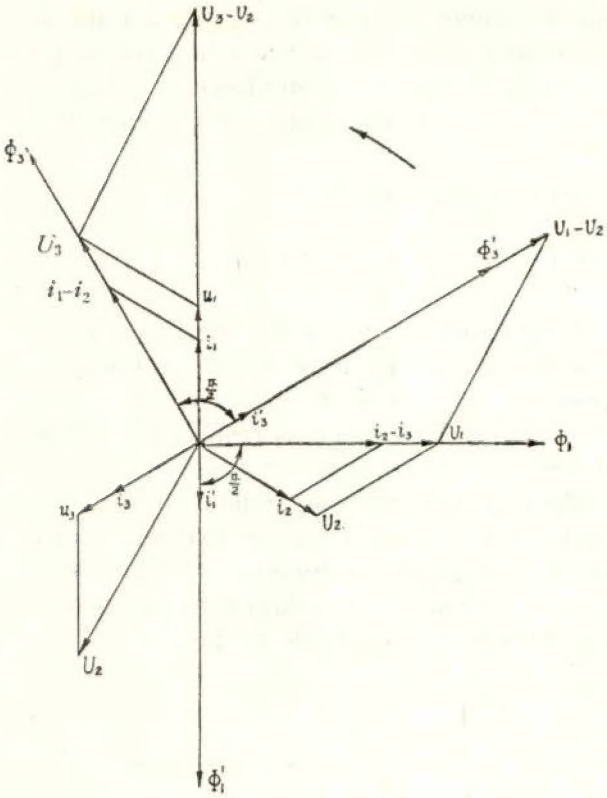


Fig. 33

Daqui conclui-se que as bobinas de tensão ficam montadas sôbre as fases u_1 e u_2 e sôbre u_2 e u_3. Nos electro-imans de intensidade verifica-se que a fase, onde circula a corrente i_2, actua nos dois grupos das bobinas série, percorridas pelas correntes i_1 e i_3, mas em sentido contrário destas. Logo, a montagem do contador corresponderá ao esquema representado na fig. 34.

Nesta montagem vê-se que, para que os campos das bobinas de tensão e de intensidade satisfaçam à condição de

$$\operatorname{sen}\psi = \cos\varphi$$

é necessário que os campos das bobinas de tensão estejam em quadratura com os campos das bobinas de intensidade.

Assim, o grupo W_1 corresponde ao termo

$$(U_1 - U_2)(i_2 - i_3) = U_1\sqrt{3}\,(i_2 - i_3)$$

Φ'_1, gerado pela corrente devida à tensão U_1 estará em quadratura com esta tensão, e como o campo, devido ao electro-iman série, é gerado pela corrente $(i_2 - i_3)$, estará em fase com U_1 no caso de $\varphi = 0$, teremos que $\psi = 90^\circ$ e a condição

$$\operatorname{sen}\psi = \cos\varphi$$

será satisfeita porque o ângulo entre Φ'_1 e Φ_1, devido à corrente, é de 90°.

Para o grupo W_2 observam-se exactamente as mesmas condições. O exame do diagrama vectorial, fig. 33, permite ràpidamente fazer um confronto. A corrente $(i_1 - i_2)$ está em fase com a tensão U_3. A corrente da bobina de tensão deverá estar em quadratura com U_3 e o campo Φ'_3, como está em fase com a corrente i'_3, que circula na bobina de tensão, estará decalado de 90° sôbre U_3. Como $(i_1 - i_2)$ está em fase com U_3, quando não há reactância no circuito, e como Φ_3, devido à corrente $(i_1 - i_2)$ está em fase com a tensão U_3, estará portanto, decalado de 90° em relação a Φ'_3. Logo, a condição acima indicada da igualdade do $\operatorname{sen}\psi$ e $\cos\varphi$ fica plenamente satisfeita.

Vê-se que, quando $\varphi \neq 0$, as correntes $(i_1 - i_2)$ e $(i_2 - i_3)$ ficarão decaladas sempre do mesmo ângulo em relação às respectivas tensões compostas U_3 e U_1.

Para $\varphi = 90^\circ$ os campos estarão em fase e a acção sôbre o rotor dos grupos watimétricos será nula.

Falta agora ver o caso em que o sistema é rigorosamente equilibrado o que equivale a ter

$$P = U_1\,(i_2 - i_3) = U_2\,(i_3 - i_1) = U_3\,(i_1 - i_2)$$

Estamos precisamente no caso que foi tratado a propósito do diagrama de montagem representado na fig. 27 e interpretado vectorialmente nos diagramas das figs. 28 e 29. Nada há a acrescentar, visto o caso ser perfeitamente idêntico.

Temos assim tratado de todos os métodos aplicáveis a sistema trifásicos em que o ponto neutro não é acessível.

Vamos agora tratar dos métodos de medida aplicáveis aos sistemas trifásicos de neutro acessível, vulgarmente conhecidos por distribuïções trifásicas a quatro fios.

O primeiro método que obtivemos é representado pela fórmula

$$P = i_1 (U_1 - U_0) + i_2 (U_2 - U_0) + i_3 (U_3 - U_0)$$

Êste caso representa o bem conhecido método dos três watímetros, muito empregado na prática.

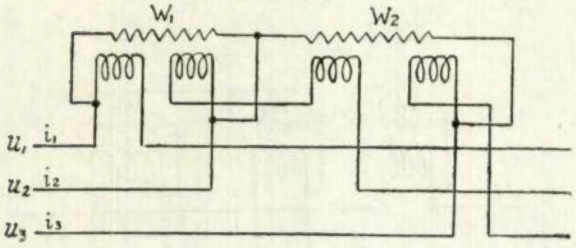


Fig. 34

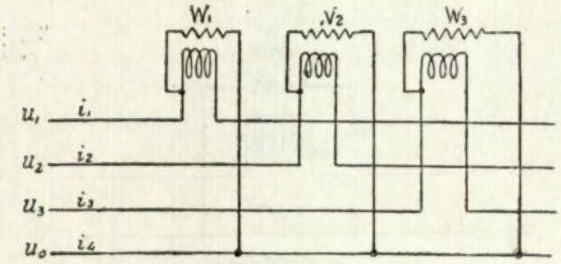


Fig. 35

$(U_1 - U_0)$; $(U_2 - U_0)$ e $(U_3 - U_0)$ representa as diferenças de potencial entre cada fase e o quarto condutor, chamado neutro.

Êste método é baseado no segundo teorema que enunciámos no comêço dêste trabalho e diz que «*a potência que atravessa um sistema de* n *condutores é igual à soma de todos os produtos das correntes que passam em todos os condutores menos um, pela diferença de potencial entre cada um dos* $n - 1$ *condutores e o condutor de ordem* n.

O esquema de montagem pode-se representar da forma indicada na fig. 35.

Neste método podem-se empregar watímetros electrodinâmicos ou ser executado em contadores com os dispositivos mais variados, quer sejam os três grupos watimétricos W_1, W_2 e W_3 actuando só num disco, quer actuando em dois ou três discos.

Watímetros de indução, utilizando êste método de medida, não são geralmente construídos, devido a dificuldades de ordem técnica que os tornariam relativamente caros. Mas, em contadores de energia eléctrica o método está extremamente vulgarizado e é de emprêgo corrente pelas múltiplas vantagens que oferece. O diagrama vectorial correspondente a esta montagem é simples e assim o temos, indicado na fig. 36:

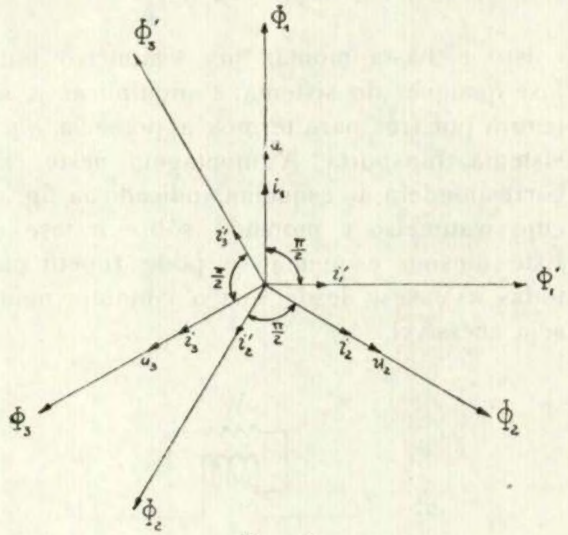


Fig. 36

Neste diagrama, supõe-se, como quási sempre o temos suposto, que $\varphi = 0$. Logo, as correntes estão em fase com as tensões estreladas.

Como vemos, cada grupo watimétrico tem a bobina montada em derivação entre cada fase e o neutro, cada bobina de intensidade é percorrida pela corrente da respectiva fase.

Para realizar nos contadores de indução a condição, já várias vezes citada da igualdade entre o senψ e cosφ, basta que a corrente, que circula na respectiva bobina de tensão, esteja decalada de 90° sôbre a tensão nos seus terminais. Nestas condições, como o fluxo está em fase com a corrente da bobina de tensão ficará defasado de 90° sôbre esta. No caso de $\varphi = 0$, a corrente que circula na fase estará em fase com a tensão estrelada e nesta altura o ângulo ψ será igual a 90°. Quando $\varphi = 90°$ os dois fluxos estarão em fase e a resultante da sua acção sôbre o rotor será nula. Esta acção será simultânea em qualquer dos três grupos medidores.

Vejamos agora os casos particulares que se podem dar com êste método de medida e segundo as condições de regime do sistema.

1.º caso: Vamos supor que o sistema está perfeitamente equilibrado e que temos portanto,

$$U_1 - U_0 = U_2 - U_0 = U_3 = U_0$$
$$i_1 = i_1 = i_3$$

Será

$$P = 3\,(U_1 - U_0)\,i_1 = 3\,(U_2 - U_0)\,i_2 = 3\,(U_3 - U_0)\,i_3$$

Isto é, basta montar um watímetro numa fase qualquer do sistema e multiplicar a sua leitura por três para termos a potência que o sistema transporta. A montagem neste caso corresponderá ao esquema, indicado na fig. 37, cujo watímetro é montado sôbre a fase u_1. Êste mesmo esquema se pode repetir para tôdas as fases, desde que o condutor neutro seja acessível.

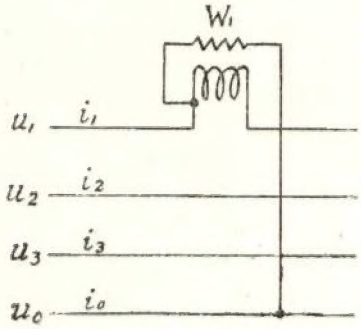


Fig. 37

Mas, vamos ver se é possível aplicar êste método ao caso do sistema trifásico, quando o neutro não é acessível por qualquer circunstância.

O primeiro teorema, já enunciado, permite-nos recorrer à execução dêste método sem necessidade de utilizar o condutor neutro. Para isso, procura-se arranjar fora da instalação um ponto neutro artificial simétrico para as bobinas de tensão e, assim, teremos a seguinte montagem, fig. 38, quando empregarmos três watímetros.

O ponto O' será o ponto escolhido fora da instalação onde se reünem as três extremidades das bobinas de tensão, ficando as outras ligadas às respectivas fases. O ponto O' constitue, portanto, o ponto neutro artificial fora da instalação.

Êste caso é muito empregado nos contadores trifásicos com três grupos watimétricos.

Se, porém, houver só um watímetro e se queira medir a potência do sistema trifásico sem auxílio do condutor neutro, esta medida pode-se executar, utilizando só um watímetro e mais duas resistências que tenham o mesmo valor óhmico, que o circuito de tensão do aparelho e, então, empregar-se-á a montagem do esquema representado na fig. 39.

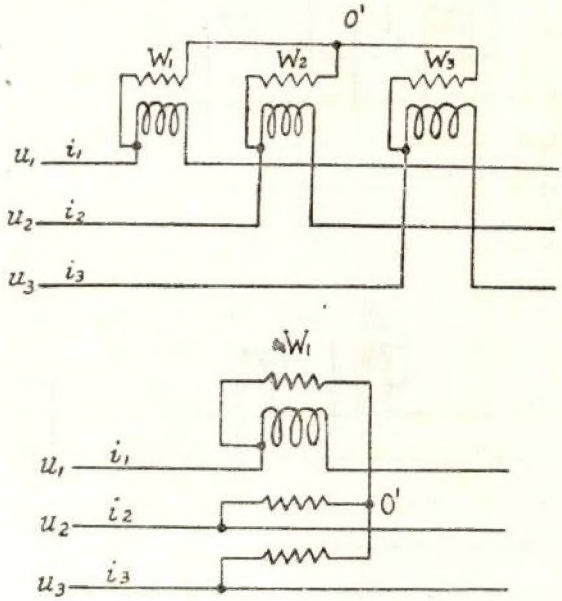


Fig. 38 e Fig. 39

O ponto O' é o ponto neutro artificial que se utiliza fora da instalação para se obter a tensão estrelada aos bornes do circuito de tensão do watímetro. É conhecida esta montagem pela designação do «*Método do ponto neutro artificial*». É evidente, que se o sistema não estiver equilibrado, a medida só se poderá fazer medindo sucessivamente a potência que cada fase transporta, e somando as três leituras, isto, porém, só na hipótese de que não haja grandes variações nas cargas de cada uma das fases. De contrário, êste método de medida com um watímetro e as três resistências adicionais, montadas como indica a fig. 39, só encontra aplicação nos casos de sistemas rigorosamente equilibrados.

Segue-se agora o *Método de medida* que resulta da transformação da equação

$$P = (U_1 - U_0)\,i_1 + (U_2 - U_0)\,i_2 + (U_3 - U_0)\,i_3$$

e que é representada pelo grupo das seguintes equações:

$$P = (i_2 - i_1)(U_2 - U_0) + (i_3 - i_1)(U_3 - U_0)$$

$$P = (i_1 - i_2)(U_1 - U_0) + (i_3 - i_2)(U_3 - U_0)$$

$$P = (i_1 - i_3)(U_1 - U_0) + (i_2 - i_3)(U_2 - U_0)$$

Qualquer destas três equações são equivalentes e elas representam a permutação circular das três fases para a utilização do método. Basta, portanto, mostrar como se executa a montagem de qualquer das equações e interpretá-la vectorialmente para ficarmos conhecendo como se aplica para as restantes equações.

Tomemos, portanto, a primeira equação

$$P = (i_2 - i_1)(U_2 - U_0) + (i_3 - i_1)(U_3 - U_0)$$

Vemos que é um *Método de medida* em que se utiliza o chamado *condutor neutro.*

Consideremos o seu diagrama vectorial, fig. 40. Vemos que êste método participa da ligação em estrêla no que diz respeito a ligação das bobinas de tensão, e da ligação em triângulo na parte que se refere às ligações das bobines de intensidade.

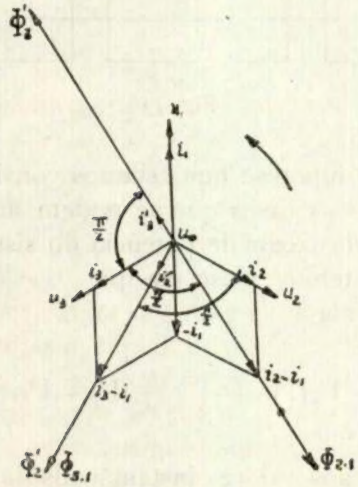


Fig. 40

É o *Método dos dois Watímetros,* mas em lugar de termos a tensão composta, temos uma intensidade composta que é o caso dos sistemas trifilares ligados em triângulo. Êste método é só empregado em contadores de energia ou em watímetros de indução.

Considerando u_2 e u_3 as tensões eficazes das respectivas fases e I_2 e I_3 as intensidades compostas de $(i_2 - i_1)$ e $(i_3 - i_1)$ a potência eficaz será dada pela expressão

$$P = u_2 I_2 \cos\psi_1 + u_3 I_3 \cos\psi_2$$

sendo

$$\psi_1 = 30 - \varphi$$

e

$$\psi_2 = 30 + \varphi$$

virá

$$P = u_2 I_2 \cos(30 - \varphi) + u_3 I_3 \cos(30 + \varphi)$$

fórmula idêntica à que já obtivemos para o *Método dos dois Watímetros.*

Como se consegue realizar pràticamente a montagem dêste método de medida?

O esquema, representado na fig. 41, mostra como se dispõem os circuitos de tensão em relação aos circuitos de intensidade. Tanto no grupo W_1 como no grupo W_2 a fase i_1 entra no electro-iman de intensidade para criar um campo diferencial correspondente às correntes $(i_2 - i_1)$ e $(i_3 - i_1)$.

Para se obter a condição de

$$\operatorname{sen}\psi = \cos\varphi$$

os fluxos, devidos às correntes das bobinas de tensão, fig. 40, estarão decalados de 90° sôbre cada uma das tensões estreladas u_2 e u_3.

Vê-se, por exemplo, que, quando $\varphi = 0{,}5$ o grupo W_1 não actuará no rotor em virtude de os fluxos Φ'_2 e $\Phi_{2.1}$ devido às correntes i'_2 e $(i_2 - i_1)$, estarão em fase e decalados de 90° sôbre u_2, enquanto $(i_3 - i_1)$ e o respectivo fluxo $\Phi_{3.1}$, devido a esta corrente, estarão decalados de 30° em relação a u_3. Para $\varphi = 90°$ vê-se que ambos os grupos W_1, W_2 criam binário igual no rotor, mas de sentido contrário, pelo que êste não se moverá.

Como se vê, as acções são em tudo idênticas ao que se passa com os contadores, baseados no *Método dos dois Watímetros.*

Êste método também é susceptível de se aplicar em circuitos trifásicos, mas onde o neutro não é acessível. Para tanto, basta criar um ponto neutro artificial simétrico com uma resistência R que fique montada como mostra a fig. 42. O ponto O' será o ponto neutro artificial simétrico escolhido fora do sistema e fará a função do condutor neutro. As tensões nos terminais das bobinas de derivação serão as

tensões estreladas do respectivo sistema trifásico, mercê da resistência R montada em derivação entre o ponto O' e a fase u_1.

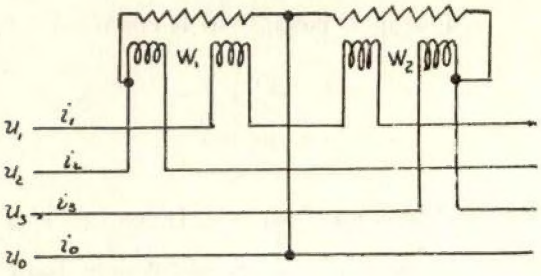


Fig. 41

Resta-nos agora ver o grupo de equações que representa o último método de medida susceptível de ser aplicado em sistemas trifásicos de quatro condutores.

É o seguinte:

$$P = (U_1 - U_2)\left(i_1 + \frac{i_0}{3}\right) + (U_3 - U_2)\left(i_3 + \frac{i_0}{3}\right)$$

$$P = (U_2 - U_3)\left(i_2 + \frac{i_0}{3}\right) + (U_1 - U_3)\left(i_1 + \frac{i_0}{3}\right)$$

$$P = (U_2 - U_1)\left(i_2 + \frac{i_0}{3}\right) + (U_3 - U_1)\left(i_3 + \frac{i_0}{3}\right)$$

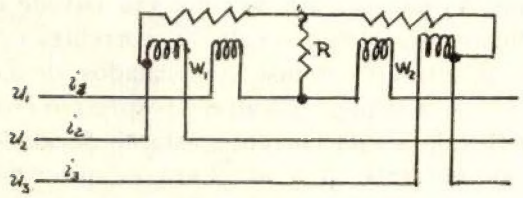


Fig. 42

Como se vê, nestas equações entra a corrente do condutor neutro sempre que o sistema não esteja rigorosamente equilibrado. É um método que só se emprega em contadores de energia eléctrica ou watímetros de indução.

Pràticamente êste método de medida pode-se traduzir pelo esquema de montagem representado na fig. 43.

Vectorialmente, esta montagem pode ser representada pelo diagrama da fig. 44. Duma forma geral suporemos, para maior generalidade que o sistema não está equilibrado e que, portanto,

$$i_1 \neq i_2 \neq i_3$$

pelo que será

$$i_1 + i_2 + i_3 = -i_0$$

Haverá, pois, uma corrente i_0 que circulará no condutor neutro e percorrerá as bobinas que fazem parte dos electro-imans de corrente dos grupos medidores W_1 e W_2.

Êste método é muito semelhante ao *Método dos dois Watímetros* e basta ver que logo que $i_0 = o$, isto é, logo que o sistema se equilibra, a corrente do condutor neutro é nula e o método torna-se nitidamente no método referido.

A posição dos fluxos das bobinas é idêntica à que foi indicada para o já citado método. As correntes i'_1 e i'_3, que circulam nas bobinas de tensão, estão decaladas de 90° sôbre a tensão nos terminais das respectivas bobinas.

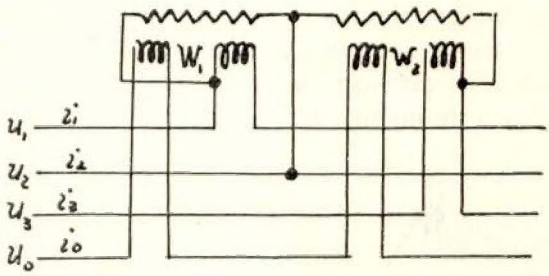


Fig. 43

Para a hipótese que estamos considerando, vamos ver os casos que se podem dar com a variação do factor de potência do sistema.

Assim, temos: Caso em que $\varphi = 0$

A fórmula

$$P = (U_1 - U_2)\left(i_1 + \frac{i_0}{3}\right) + (U_3 - U_2)\left(i_3 + \frac{i_0}{3}\right)$$

refere-se aos valores instantâneos das tensões e das correntes.

Vamos, porém, considerar os seus valores eficazes; façamos

$$U_1 - U_2 = U_3 \quad \text{e} \quad U_3 - U_2 = U_1$$

e

$$i_1 + \frac{i_0}{3} = I_1 \quad \text{e} \quad i_3 + \frac{i_0}{3} = I_3$$

e teremos que a potência eficaz medida pelos dois grupos medidores W_1 e W_2 será respectivamente igual a

$$P = U_3 I_1 \cos \psi_1 + U_1 I_3 \cos \psi_2$$

sendo ψ_1 e ψ_2 os ângulos de decalagem entre U_3 e I_1 e U_1 e I_3,

Na fig. 44 vemos que, sendo $\varphi = 0$ será

$$\psi_1 = 30 - \beta_1 \quad \text{e} \quad \psi_2 = 30 - \beta_2$$

Logo

$$P = U_3 I_1 \cos (30 - \beta_1) + U_1 I_3 \cos (30 - \beta_2)$$

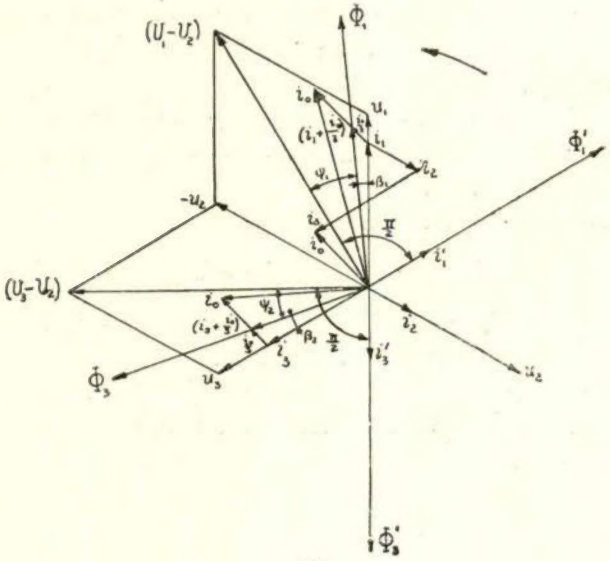


Fig. 44

Se fôr $\varphi = \beta_1$ virá

$$\psi_1 = 30^\circ \quad \text{e} \quad \psi_2 = 30 - (\beta_2 + \varphi) = 30^\circ - (\beta_2 + \beta_1)$$

e será

$$P = U_3 I_1 \cos 30^\circ + U_1 I_3 \cos [30^\circ - (\beta_2 + \beta_1)]$$

Ser fôr $\varphi = \beta_2$ virá

$$\psi_1 = 30^\circ + (\beta_2 - \beta_1) \text{ e } \psi_2 = 30^\circ - (\beta_2 + \beta_2) = 30^\circ - 2\beta_2$$

e será

$$P = U_3 I_1 \cos [30^\circ + (\beta_2 - \beta_1)] + U_1 I_3 \cos (30^\circ - 2\beta_2)$$

Se, porém, fôr $\varphi > \beta_1$, sendo $\varphi < 30^\circ$ virá

$$\psi_1 = 30 + (\varphi - \beta_1) \quad \text{e} \quad \psi_2 = 30 - (\varphi + \beta_2)$$

e, portanto,

$$P = U_3 I_1 \cos [30 + (\varphi - \beta_1)] + U_1 I_3 \cos [30 - (\varphi + \beta_2)]$$

Esta é a fórmula que é mais geral e que se aproxima da fórmula dos métodos dos dois watímetros, pois no caso de ser

$$\beta_1 = \beta_2 = 0$$

a fórmula torna-se

$$P = U_3 I_1 \cos (30 + \varphi) + U_1 I_3 \cos (30 - \varphi)$$

já estudada.

A condição para que a fórmula se anule para uma potência completamente reactiva num sistema trifásico desequilibrado não obedece, neste caso, à condição de ser $\varphi = 90^\circ$, porque então teríamos

$$P = U_3 I_1 \cos \left[30 + \frac{\pi}{2} - \beta_1 \right) +$$

$$+ U_1 I_3 \cos \left(30 - \frac{\pi}{2} - \beta_2 \right) =$$

$$= - U_3 I_1 \cos (60 - \beta_1) + U_1 I_3 \cos (60 + \beta_2)$$

como $I_1 > I_3$ supondo que $U_3 = U_1$ e como $\cos (60 - \beta_1) > \cos (60 + \beta_2)$ será

$$P = - U_3 I_1 \cos (60 - \beta_1) + U_1 I_3 \cos (60 + \beta_2) \neq 0$$

Para que $P = 0$ será necessário que

$$U_3 I_1 \cos (60 - \beta_1) = U_1 I_3 \cos (60 + \beta_2)$$

e, supondo que $U_3 = U_1$, virá que aquela condição só se poderá realizar quando se der a seguinte relação:

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{\cos (60 + \beta_2)}{\cos (60 - \beta_1)} = \frac{\cos \beta_2 - \sqrt{3} \operatorname{sen} \beta_2}{\cos \beta_1 + \sqrt{3} \operatorname{sen} \beta_1}$$

Nêste método de medida dois casos interessantes se apresentam a considerar e que são:

Primeiro caso: as duas fases que entram nos grupos medidores estão igualmente carregadas e a outra fase não tem carga.

Segundo caso: as duas fases estão igualmente carregadas, mas a fase que não tem carga é a que corresponde a um dos grupos watimétricos.

Vejamos o que se passa no primeiro caso, fig. 45.

$$i_1 = i_3 \quad i_2 = 0$$

Desde que se dê o facto de as duas fases estarem igualmente carregadas, verifica-se que

$$\beta_1 = \beta_2$$

e portanto

$$\psi_1 = \psi_2$$

donde resultará que

$$\begin{aligned} P &= U_3 I_1 \cos [30 + (\varphi - \beta_1)] + \\ &+ U_1 I_3 \cos [30 - (\varphi + \beta_2)] = \\ &= U_3 I_1 \cos [30 + (\varphi - \beta_1)] + \\ &+ U_1 I_3 \cos [30 - (\varphi + \beta_1)] \end{aligned}$$

como

$$I_1 = I_3 \quad e \quad U_3 = U_1$$

será

$$P = U_3 I_1 [\cos[30 + (\varphi - \beta_1)] + \cos[(30 - (\varphi + \beta_1)]$$

sendo $\varphi = 0$ virá

$$P = U_3\ I_1\ [\cos\ (30 - \beta_1) + (\cos\ 30 - \beta_1)] = \\ = 2\ U_3\ I_1\ \cos\ (30 - \beta_1)$$

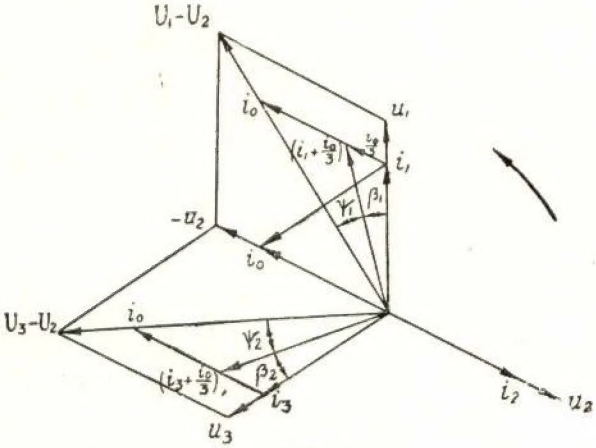


Fig. 45

Quere dizer que ambos os grupos medem a mesma energia.

Mantendo-se

$$i_1 = i_3$$

ainda que

$$i_2 \neq 0$$

verifica-se sempre que $\beta_1 = \beta_2$ e, portanto, neste caso cada grupo watimétrico actua sôbre o rotor produzindo um binário motor igual a metade do binário motor total.

Analisemos agora o segundo caso, fig. 46, isto é:

$$i_1 = i_2 \qquad i_3 = 0$$

A potência será dada pela expressão:

$$P = U_3\ I_1 \cos\ (30 + \beta_1) + U_1 \frac{i_0}{3} \cos\ 150^\circ =$$

$$= U_3\ I_1 \cos\ (30 + \beta_2) - U_1 \frac{i_0}{3} \cos\ 30^\circ$$

visto que $\varphi = 0$ e $\beta_2 = 0$.

É o caso em que a corrente no condutor neutro está em fase com a tensão da fase onde não há corrente, como no caso anterior, em

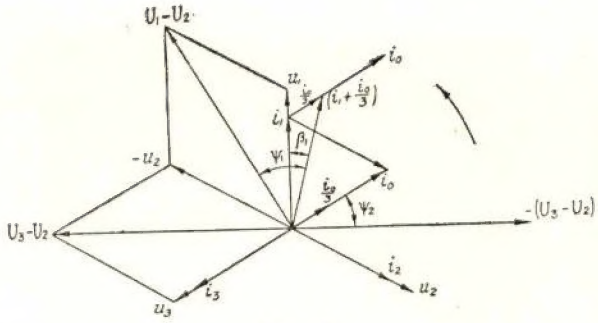


Fig. 46

que a corrente no condutor neutro está também em fase com a tensão da fase onde não há carga.

Vejamos agora o que sucede quando só uma fase é percorrida pela corrente e nas outras não existe carga.

Neste caso temos que

$$i_2 = i_3 = 0 \quad e \quad i_1 = i_0$$

Quere dizer que i_0 está em fase com i_1 e tem a mesma grandeza vectorial.

O diagrama vectorial, representado na fig. 47, mostra a posição relativa das tensões e das correntes.

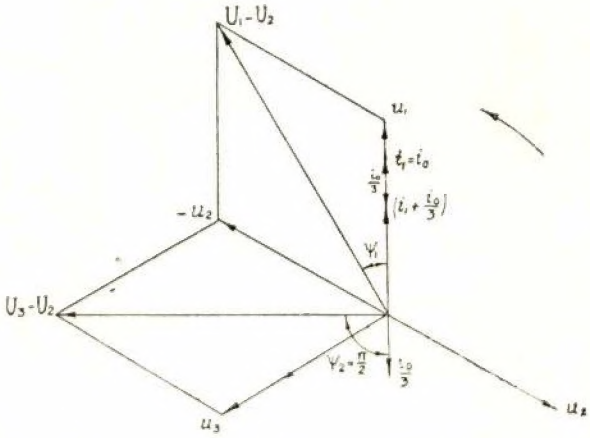


Fig. 47

Vemos que a corrente

$$i_1 + \frac{i_0}{3}$$

está em fase com i_1 e que $\frac{i_0}{3}$ está também em fase com i_1, mas em quadratura com $U_3 - U_2$.

Logo, a potência correspondente a esta posição vectorial, será igual a

$$P = U_3 I_1 \left(i_1 + \frac{i_0}{3}\right) \cos \psi_1 + U_1 \frac{i_0}{3} \cos \psi_2$$

ora $\psi_1 = 30^\circ$ portanto $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\psi_2 = 90^\circ$ $\cos \psi_2 = 0$ teremos então

que $$P = U_3 I_1 \left(i_1 + \frac{i_0}{3}\right) \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

visto $$U_1 \frac{i_0}{3} \cos \psi_2 = 0$$

Êste caso mostra-nos que é possível estabelecer um novo método de medida que representa uma variante do que acabamos de tratar e que se pode aplicar a um sistema trifásico a quatro fios em que apenas haja um sistema trifásico a três fios equilibrado e se tire de uma das fases uma derivação para iluminação. Para isso basta que o contador tenha só um grupo medidor, cuja montagem se pode fazer conforme a fig. 48 indica.

Êste esquema tem a sua representação vectorial na fig. 47, na parte que, analìticamente, poderemos representar pela expressão

$$P = (U_1 - U_2)\left(i_1 + \frac{i_0}{3}\right)$$

a qual indica a potência instantânea que atravessa o contador.

A potência eficaz será representada pela expressão já achada

$$P = U_3 I_1 \left(i_1 + \frac{i_0}{3}\right) \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Eis a descrição de todos os métodos que se podem empregar para a medida da potência e energia eléctrica quer em sistemas monofásicos a dois e três fios, bifásicos e trifásicos a três e quatro fios.

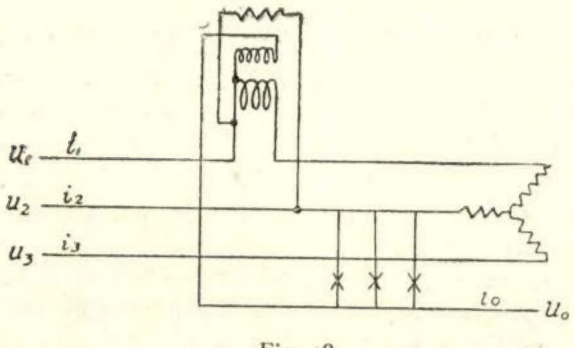


Fig. 48

Vejamos agora como alguns métodos de medida, empregados para a determinação da potência e energia activa, se podem prestar para medida da potência reactiva, recorrendo a um artifício de ligações.

VI

Utilização de alguns métodos de medida de potência e energia activa para a determinação da potência e energia reactiva

Dos métodos de medida enumerados, alguns prestam-se para serem utilizados na medida da potência e da energia reactiva dos sistemas trifásicos a três e quatro fios.

Estão nestes casos os *Métodos de medida dos dois e três Watímetros.* Na realidade não constituem pròpriamente um método de medida, mas sim um artifício que se emprega nas ligações, quer dos watímetros quer dos grupos watimétricos dos contadores de energia.

Vamos dar aqui os esquemas das suas ligações e doutros, apenas a título de complemento dêste trabalho.

Comecemos pelo método dos três watímetros. Se compuzermos sucessivamente entre si as tensões estreladas de um sistema trifásico obteremos o diagrama vectorial representado na fig. 49.

Examinando êste diagrama, vê-se que cada tensão composta está decalada de 90° em avanço sôbre a tensão estrelada adjacente.

Assim, a tensão $(U_1 - U_3)$ está decalada de 90° em avanço sôbre a tensão u_2; a tensão $(U_2 - U_1)$ está em avanço de 90° sôbre a tensão u_3 e finalmente a tensão $(U_3 - U_2)$ está em avanço do mesmo ângulo de 90° sôbre a tensão U_1.

Como é sabido, em virtude da reactância nos circuitos de corrente alternada, a corrente alternada pode ser considerada como a resultante de duas correntes; uma, a corrente activa, que se manifesta nos aparelhos e a outra, a corrente reactiva, que está em quadratura com a corrente activa. A soma destas duas correntes dará a corrente aparente I. Nestas circunstâncias teremos que

$$I = i \cos\varphi = i \operatorname{sen}\varphi$$

Como o valor i senφ não se manifesta nos aparelhos, os quais, apenas, dão indicação dos valores eficazes das correntes, tensões e potências, recorre-se ao artifício de fazer ligações apropriadas nos aparelhos, aproveitando a circunstância de as tensões compostas estarem decaladas de 90° sôbre as correntes de cada uma das fases, quando $\varphi = 0$, e assim, utilizando êste recurso, as ligações de montagem podem ser feitas segundo o esquema da fig. 50, aplicando-se na medida da potência reactiva três watímetros ou três grupos watimétricos, se se tratar de um contador.

A hipótese indicada no diagrama da fig. 49 é feita para o caso de ser $\varphi = 0$, isto é, de não haver reactância no circuito. Neste caso teremos que a potência reactiva será igual a

$$P_r = (U_1 - U_3)\, i_2 + (U_2 - U_1)\, i_3 + (U_3 - U_2)\, i_1 = 0$$

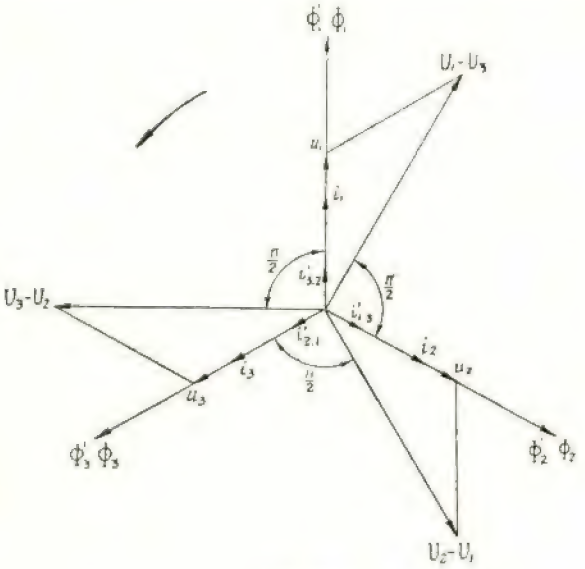


Fig. 49

No caso de se tratar de contadores os fluxos devidos às correntes tensões e às correntes de cada fase estarão em fase com estas e em quadratura com a respectiva tensão e o rotor não andará. Se forem watímetros, os ponteiros dos aparelhos estarão no zero.

Supunhamos que há reactância no circuito e que $\varphi \neq 0$ e então teremos que os vectores das correntes e tensões ocuparão as seguintes posições indicadas na fig. 51.

A potência reactiva, que os três aparelhos registam, será respectivamente igual a

$$P_r = (U_1 - U_3)\, i_2 \cos\psi + (U_3 - U_2)\, i_1 \cos\psi + (U_2 - U_1)\, i_3 \cos\psi = (U_1 - U_3)\, i_2 \operatorname{sen}\varphi + (U_3 - U_2)\, i_1 \operatorname{sen}\varphi + (U_2 - U_1)\, i_3 \operatorname{sen}\varphi$$

visto que $\cos\psi = \operatorname{sen}\varphi$.

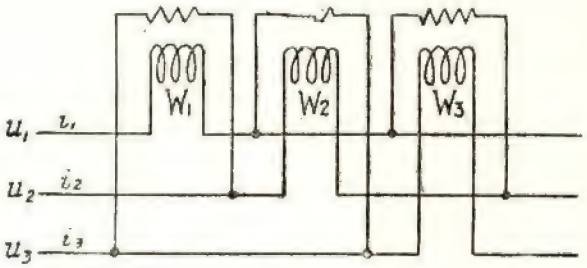


Fig. 50

Devemos notar que

$$U_1 - U_3 = u_1 \sqrt{3} \qquad U_3 - U_2 = u_3 \sqrt{3}$$
$$\text{e} \quad U_2 - U_1 = u_2 \sqrt{3}$$

e, portanto, as indicações dos aparelhos têm que ser reduzidas de $\sqrt{3}$ para se ter o valor exacto da potência reactiva correspondente a cada fase.

Um outro contador de energia reactiva pode ser realizado, utilizando, não as tensões compostas do sistema estrelado, mas sim as intensidades compostas do sistema em triângulo, e as tensões estreladas tal como indica o diagrama, representado na fig. 52. Êste diagrama corresponde à seguinte fórmula

$$P_r = (i_3 - i_2)\, u_1 + (i_1 - i_3)\, u_2 + (i_2 - i_1)\, u_3$$

Neste caso, as correntes das bobinas de tensão, i'_1, i'_2 e i'_3 estão em fase com as intensidades compostas

$$(i_1 - i_2),\ i_1 - i_3) \text{ e } (i_2 - i_1)$$

e, portanto, os fluxos Φ'_1, Φ'_2 Φ'_3 estão também em fase com $\Phi'_{3.2}$, $\Phi'_{1.3}$ e $\Phi'_{2.1}$. Nesta posição o factor de potência reactiva tem o seu valor máximo e o binário é nulo do que resulta ser a potência reactiva P_r nula. A decalagem das correntes das fases em relação às tensões respectivas fará decalar igualmente do mesmo ângulo as intensidades compostas e, quando houver a quadratura das intensidades das fases com as tensões estrela-

das, as intensidades compostas terão rodado igualmente de $\frac{\pi}{2}$ e, portanto, a potência reactiva P_r será máxima e o seu binário motor terá igualmente o seu valor máximo.

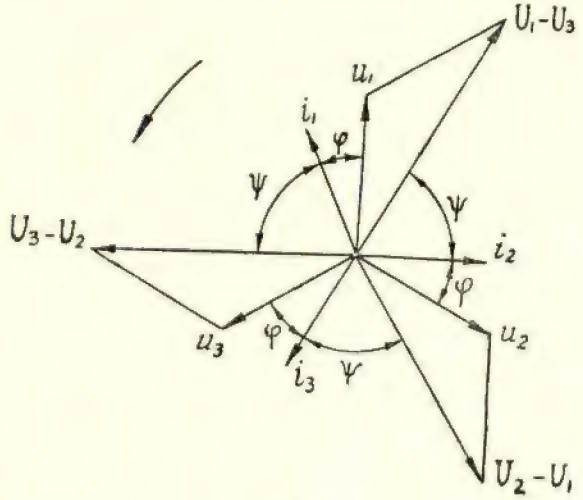


Fig. 51

Aqui, como no método anterior, tem-se a observar que

$$i_3 - i_2 = i_2\sqrt{3} = i_3\sqrt{3} \quad ; \quad i_1 - i_3 = i_1\sqrt{3} = i_3\sqrt{3}$$
$$i_2 - i_1 = i_2\sqrt{3} = i_1\sqrt{3}$$

e, nestas circunstâncias, as indicações dos aparelhos ou do contador têm de ser reduzidas de $\sqrt{3}$ para se ter o valor correcto da potência reactiva correspondente a cada fase.

A fig. 53 mostra como na prática se realiza um tal método de medida da energia reactiva, visto que êle só é aplicável a contadores, porquanto, para se realizar em cada grupo watimétrico W_1, W_2 e W_3 a intensidade composta é necessário estabelecer um sistema diferencial nas bobinas de intensidade, não se podendo, portanto, utilizar os watímetros correntes para realizar tal sistema.

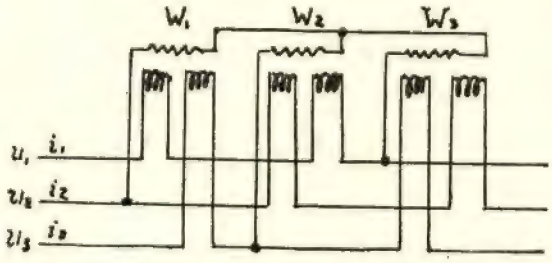


Fig. 53

Na medida da potência reactiva também se pode empregar o método dos dois watímetros o que é fácil de compreender, examinando não só os diagramas vectoriais das figs. 49 e 50, como os da figs. 51 e 52, estes dois últimos referentes à posição das tensões e intensidades do respectivo método. As tensões compostas estão em quadratura com as respectivas intensidades das fases que se encontram em atrazo de 90°. A fig. 54 representa o caso em

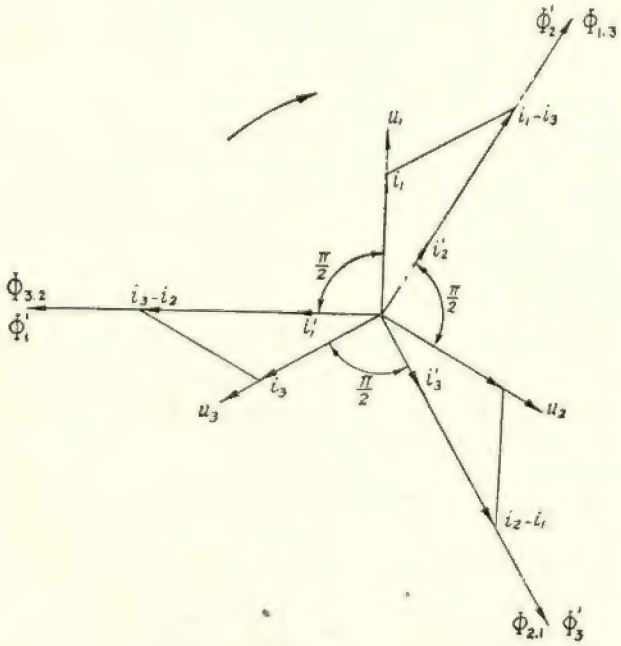


Fig. 52

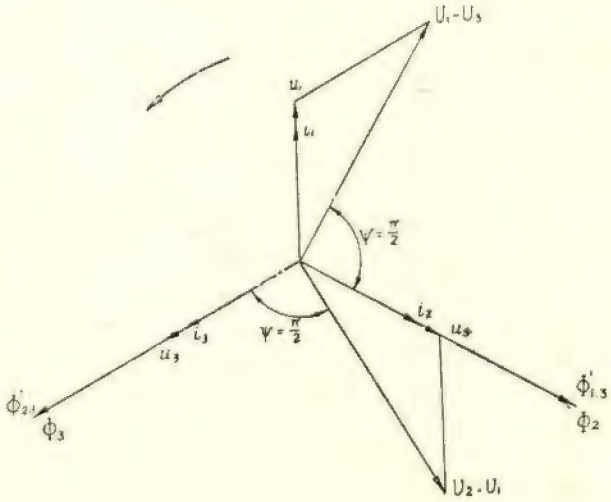


Fig. 54

que $\varphi = 0$ e a fig. 55, representa aquêle em que $\varphi \neq 0$. No primeiro caso a potência reactiva,

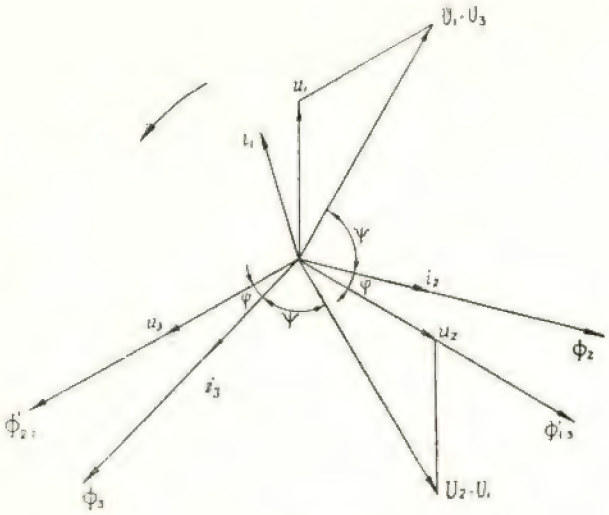


Fig. 55

registada pelos aparelhos é nula porque, sendo $\psi = 90^o$

$$\cos 90^o = 0$$

Logo

$$P = (U_1 - U_3)\ i_2 + (U_2 - U_1)\ i_3 = 0$$

ou, em valores eficazes,

$$P = U_2\ i_2 \cos \psi + U_3\ i_3 \cos \psi = 0$$

fazendo:

$$U_1 - U_3 = U_2 \quad \text{e} \quad U_2 - U_1 = U_3$$

No segundo caso teremos que $\psi < 90^o$ e será

$$\cos \psi = \operatorname{sen} \varphi$$

Logo

$$P = U_2\ i_2 \operatorname{sen} \varphi + U_3\ i_3 \operatorname{sen} \varphi$$

por ser φ diferente de zero.

O esquema da montagem correspondente aos dois diagramas das figs. 54 e 55 é o que fica representado na fig. 56.

Êste esquema difere do esquema da fig. 50 em ter só dois grupos watimétrios e, neste caso, não ser necessário reduzir as leituras de $\sqrt{3}$ como sucede naquêle em que se empregam três grupos watimétricos ou três watimetros.

Se é possível medir a potência reactiva, fazendo as ligações dos dois grupos watimétricos de forma a que as tensões compostas fiquem em quadratura com as intensidades das fases estreladas, que estão decaladas de 90° das referidas tensões compostas, como vimos nas figs. 54 e 55, também é possível fazer-se a medida da potência reactiva recorrendo a outro método de medida já exposto e cuja montagem está representada na fig. 41 e que corresponde à equação

$$P = (i_2 - i_1)(U_2 - U_0) + (i_3 - i_1)(U_3 - U_0)$$

Êste método é equivalente, como já dissemos, ao *Método dos dois Watímetros* no qual o campo de tensão é fornecido pelas tensões compostas do sistema e o campo das intensidades é fornecido pelas correntes de duas fases estreladas.

No caso que estamos tratando, o campo das tensões é fornecido pelas tensões estreladas e o campo das intensidades é fornecido pelas correntes compostas das correntes das fases estreladas. Basta, portanto, trocar na fórmula de P as tensões estreladas em cada grupo e

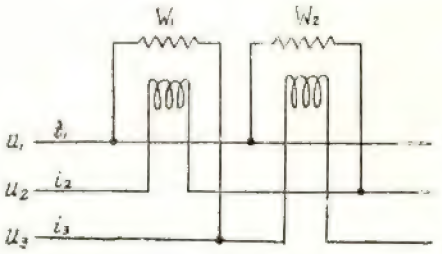


Fig. 56

teremos estas em quadratura com as correntes compostas e o binário do rotor passará a ser proporcional à soma dos produtos dos campos fornecidos pelas tensões estreladas e pelas intensidades compostas em quadratura com as mesmas.

Trocando, portanto, na fórmula de P, que representa a potência activa, as respectivas tensões temos a equação que nos dá a potência reactiva do sistema, isto é,

$$P_r = (i_2 - i_1)(U_3 - U_0) + (i_3 - i_1)(U_2 - U_0)$$

A esta fórmula corresponde o esquema de montagem representado na fig. 57.

A representação vectorial corresponde ao diagrama da fig. 58. Como se vê, êle é idêntico

ao diagrama da fig. 40. Na fig. 58 vê-se claramente que $U_3 - U_0$ está decalado de 90° sôbre $i_2 - i_1$ e que $U_2 - U_0$ está igualmente decalado do mesmo ângulo sôbre $i_3 - i_1$. Logo, os fluxos

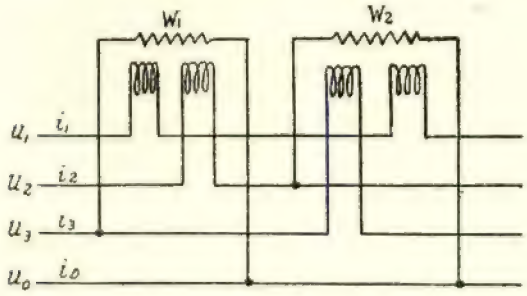


Fig. 57

Φ_2 e Φ_3 de i_2' e i_3' estão em fase, respectivamente com $\Phi_{3.1}$ e $\Phi_{2.1}$ quando φ é nulo, e, neste caso, não há binário porque êste é proporcional à soma dos produtos dos respectivos fluxos de cada grupo watimétrico W_1 e W_2 pelo seno do ângulo de fase, isto é,

$$C_m = k\,(\Phi_3\,\Phi_{2.1}\,\text{sen}\,\varphi + \Phi_2\,\Phi_{3.1}\,\text{sen}\,\varphi)$$

e como $\varphi = 0$, é $\text{sen}\,\varphi = 0$.

Logo $\qquad C_m = O$

Para $\qquad \varphi = \frac{\pi}{2} \qquad \text{sen}\,\frac{\pi}{2} = 1$

e será

$$C = k\,(\Phi_3\,\Phi_{2.1} + \Phi_2\,\Phi_{3.1})$$

O binário será, então, máximo. Esta montagem exige que o condutor neutro seja acessível, o que nem sempre acontece em circuitos onde existe exclusivamente inductância como é o caso das instalações de motores e para isso recorre-se ao ponto neutro artificial tal como vimos no esquema da fig. 42 e então a ligação far-se-á como indica a fig. 59.

Esta ligação exige uma resistência R ligada ao terminal comum das bobinas de tensão de cada um dos grupos W_1 e W_2 para se ter o ponto O', que constitue o ponto neutro artificial simétrico, que substitue a ligação no condutor neutro. O diagrama vectorial subsiste da mesma forma e as tensões estreladas ficam decaladas da mesma maneira de 90° sôbre as intensidades compostas.

Um contador de energia reactiva parecido, até certo ponto com o que foi realizado aplicando o método diferencial indicado na fig. 54, é o que foi realizado pelo Engenheiro *M. A. Iliovici* (*) e a que o autor deu a designação de

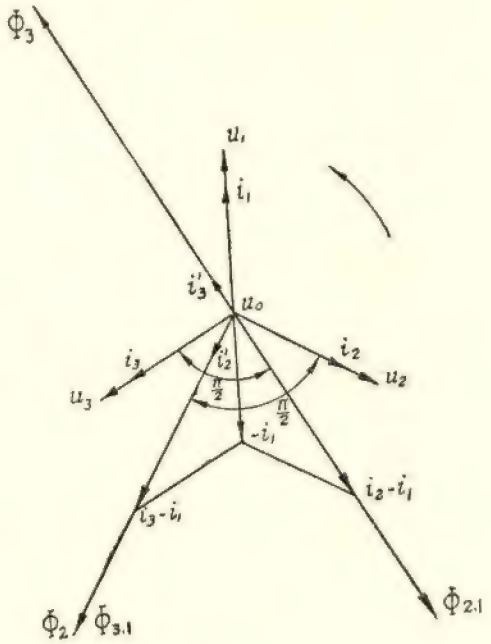


Fig. 58

Varhorametro. Destina-se também a circuitos trifásicos para distribuïções a três fios. Esquemàticamente a montagem faz-se segundo a fig. 60.

Em cada um dos grupos W_1 e W_2 entram as duas fases para constituir o electro-íman que fornece o campo de intensidade e que é formado por duas bobines nas quais o número de espiras de cada uma está na relação de 1

(*) *M. A. Iliovici* é actualmente um dos mais afamados engenheiros consultores franceses, grande especialista de aparelhos e medidas eléctricas é também professor universitário. Das suas mãos tivemos a honra de receber a oferta do seu relatório n.° 20, apresentado na 2.ª Secção do Congresso Internacional de Electricidade, reünido em Paris em 1932. Foi dêste relatório que extraímos o esquema do seu *Varhorametro*, representado na fig. 60 e a respectiva fórmula.

O diagrama vectorial, assim como a variante que apresentamos no texto, são da nossa exclusiva responsabilidade, como de resto todos os outros diagramas do presente trabalho.

para 2. As bobinas de tensão estão montadas entre fases como se vê na citada figura.

A energia reactiva neste contador é dada pela fórmula

$$W_r = \frac{1}{\sqrt{3}} \int_0^t [(2i_1 + i_2)\, U_{2.3} + (2i_2 + i_1)\, U_{1.3}]\, dt$$

visto que o número de espiras de cada uma das bobinas do circuito de intensidade está, como se disse, na relação de 1 para 2, e nesta relação estão os respectivos fluxos que cada bobina origina. A intensidade resultante é representada em cada grupo pelas componentes $(2i_1 + i_2)$ e $(2i_2 + i_1)$.

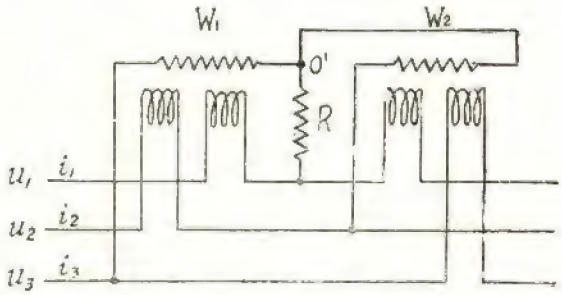


Fig. 59

O diagrama vectorial das respectivas componentes e correspondente à fórmula acima indicada acha-se representado na fig. 61.

Neste contador os fluxos, devidos aos campos de tensão e intensidade, estão em fase, mas nas bobinas de tensão a corrente de cada electro-iman está decalado apenas de 60° e não de 90° como é o habitual.

Isto é necessário, porque de contrário os fluxos $\Phi'_{2.3}$ e $\Phi'_{1.3}$ não estariam em fase com os fluxos $\Phi_{(2i_1+i_2)}$ e $\Phi_{(2i_2+i_1)}$ e o binário motor

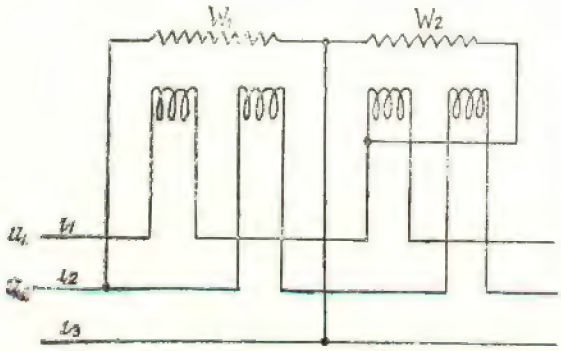


Fig. 60

não seria nulo quando o factor de potência da instalação fôsse nulo, isto é, quando $\varphi = 0$, e não haveria proporcionalidade dêste em relação à respectiva energia reactiva do circuito.

É interessante observar que êste método de medida da energia reactiva é, em parte, muito semelhante ao processo indicado nas figuras 57 e 59. Senão, vejamos.

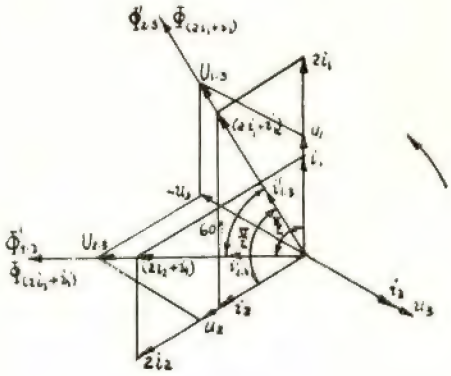


Fig. 61

Aparte a particularidade de se obter uma forma especial das componentes das correntes, se considerarmos na fórmula de W_r os valores instantâneos das tensões e correntes teremos que

$$W_r = (2i_1 + i_2)\frac{U_{2.3}}{\sqrt{3}} + (2i_2 + i_1)\frac{U_{1.3}}{\sqrt{3}}$$

Mas,

$$\frac{U_{2.3}}{\sqrt{3}} = U_2 - U_0 \qquad \text{e} \qquad \frac{U_{1.3}}{\sqrt{3}} = U_1 - U_0$$

Logo

$$W_r = (2i_1 + i_2)\,(U_2 - U_0) + (2i_2 + i_1)\,(U_1 - U_0)$$

fórmula parecida com a de P_r, indicada para o método de medida de energia reactiva correspondente à montagem da fig. 57.

Aquela fórmula demonstra que é possível obter-se ainda outro processo de medir a energia reactiva, utilizando as duas componentes de corrente $(2i_1 + i_2)$ e $(2i_2 + i_1)$ e empregando nas bobinas de tensão as fases estreladas que estão decaladas de 90° sôbre as referidas componentes, sem contudo ser necessário recorrer ao quarto condutor (fio neutro). Bastará para isso empregar-se o recurso do neutro artificial tal,

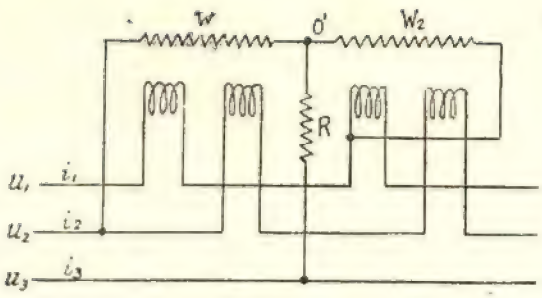


Fig. 62

como se encontra aplicado nos esquemas das montagens representados nas figuras 42 e 59, e, para isso, basta ligar uma resistência adequada R ao ponto O' para se obter neste ponto o neutro artificial e assim a tensão, que ficará entre U_1 e U_2 e o ponto O' corresponderá à tensão estrelada $(U_2 - U_0)$ e $(U_1 - U_0)$, a que corresponderá o diagrama vectorial representado na fig. 63.

Como se vê, nêste diagrama as tensões $(U_1 - U_0)$ e $(U_2 - U_0)$ estão em quadratura com as respectivas correntes i'_1 e i'_2 e, portanto, com os fluxos Φ'_1 e Φ'_2, os quais estão em fase com as componentes das correntes $(2\,i_2 + i_1)$ e $(2\,i_1 + i_2)$, cujos fluxos $\Phi_{(2\,i_2 + i_1)}$ e $\Phi_{(2\,i_1 + i_2)}$ estão em fase com os fluxos Φ'_1 e Φ'_2 e, portanto, quando não houver energia reactiva no

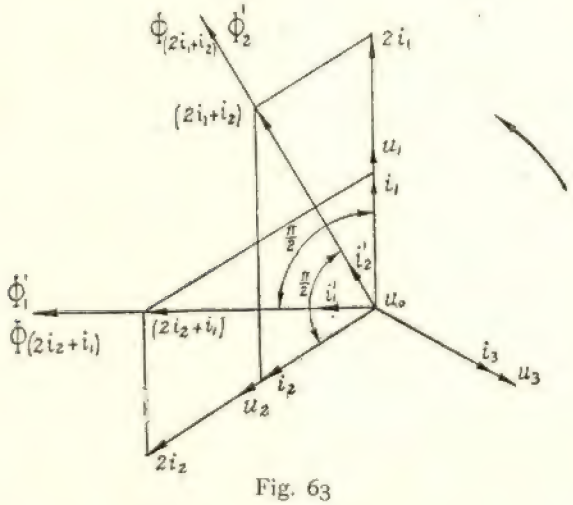


Fig. 63

circuito, isto é, quando $\varphi = 0$, o binário motor, devido a estes fluxos, será nulo e o rotor não marchará.

É evidente, que também se poderão construir contadores, baseados neste método de medida de energia reactiva, para instalações em que o neutro seja acessível e, nestes casos, a resistência R poderá ficar fora do circuito e o ponto O' poderá ser ligado directamente ao condutor neutro.

Neste caso o esquema da montagem será realizado como mostra a fig. 64 que se vê ser idêntico à montagem indicada no esquema da fig. 60, ficando a fórmula aplicável a mesma a que se refere o diagrama indicado na fig. 63.

VII

Medidas de energia aparente

A medida da energia aparente, quando se trata de circuitos indutivos, é, em geral, feita, reünindo dois contadores, um de energia activa e outro de energia reactiva, com index próprios os quais transmitem, por sua vez, por processos diferenciais, as suas indicações a um terceiro index que regista a cada instante a energia aparente absorvida pela instalação e cuja potência complexa se pode pôr sob a fórmula

$$P_a = k\,U\,I \cos(\varphi - \alpha)$$

em que k e α são constantes.

O valor máximo de P_a obtém-se quando

$$\varphi = \alpha \quad \text{pelo que} \quad \cos(\varphi - \alpha) = 1$$

Neste caso, será o valor máximo representado pela expressão

$$P_a = k\,U\,I$$

Todos os sistemas realizados pelas casas construtoras de contadores são mais ou menos idênticos quanto ao emprêgo do número de contadores, um totalizando a energia activa e outro a energia reactiva, em geral, para circuitos indutivos. Entre estes contadores podemos citar o *Trivector* da Casa *Landys & Gyr*, o dispositivo *Iliovici*, da *Compagnie des Compteurs*, formados por dois contadores com index actuando com objectivos determinados e para vários valores de $\cos\varphi$.

Um dos dispositivos interessantes que merece ser aqui citado com mais desenvolvimento,

é o que foi realizado pela casa AEG. Neste dispositivo tem-se em conta que no circuito pode haver além da energia activa e inductiva, energia capacitiva. O interessante desta aplicação é que, para totalizar a energia capacitiva e indutiva, se empregam contadores baseados no *Método dos dois Watímetros* com as ligações normais dos contadores de energia activa.

O esquema de montagem, representado na fig. 65, mostra o artifício que se emprega para se alcançar o objectivo que se tem em vista. O contador W_1 conta a energia activa pelo método normal dos dois watímetros, já tratado neste trabalho. Nada há que dizer sôbre o assunto. Os contadores W_2 e W_3 medem, respectivamente, a *energia capacitiva* e a *energia inductiva* da respectiva instalação que alimenta os receptores. Neste caso, não se recorre a nenhum método de medida para o transformar, mas sim a um artifício de montagem e que, só por ser interessante, é descrito aqui, pois que, pròpriamente, êste assunto ja

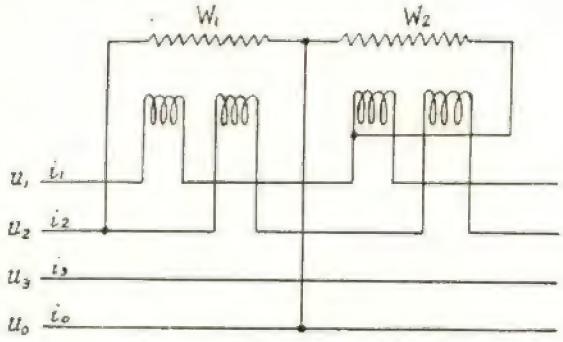


Fig. 64

está fora do plano da obra, visto pertencer ao capítulo de construção de aparelhos. Êste artifício consiste em colocar em derivação nos terminais das bobinas da tensão uma resistência puramente ohmica e em série com o conjunto de cada bobina de tensão um condensador. Os valores da resistência R, L e C e as correntes I_1, I_2 e I_3 que circulam, respectivamente, na resistência ohmica, na bobina de tensão e no condensador são determinadas como mostra o diagrama representado na fig. 66.

A condição necessária para que o contador marque a energia reactiva do circuito é que, quando φ fôr nulo, os fluxos $\Phi'_{2,3}$ e Φ_2 e $\Phi'_{1,3}$ e Φ_3 estejam em fase. Nesta altura o binário motor será nulo e o contador não marchará. Ora para que tal aconteça é necessário que as correntes das bobinas de tensão I_2 e I'_2 estejam em fase com i_2 e i_3 que circulam nas bobinas de intensidade e que, portanto, estas estejam decaladas de $\frac{\pi}{6}$ em relação às tensões compostas; ao mesmo tempo os ângulos ψ e ψ' que as correntes I_2 e I'_2 fazem com as tensões V_1 e V'_1 aos terminais dos

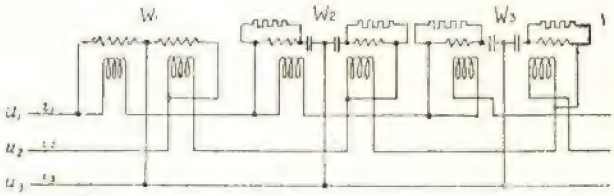


Fig. 65

electro-ímans de tensão, devem ser próximos de 90°, a-fim-de que se tenha, tanto quanto possível, a quadratura da tensão com a respectiva intensidade, para que se não crie um binário activo em vasio, devido ao consumo próprio da bobina de tensão e, portanto, não possa intervir no binário motor devido aos dois campos das correntes das fases e a totalização da energia reactiva do circuito de utilização possa ser falseada.

É claro, como se deduz da fig. 66, esta condição obtém-se com grande aproximação tornando o coeficiente de auto-indução L tão grande quanto possível.

A decalagem de $\frac{\pi}{6}$ das correntes I_2 e I'_2 das bobinas de tensão sôbre as tensões $U_{1,3}$ e $U_{2,3}$ consegue-se com a introdução da resistência ohmica R e da capacidade C .

O diagrama permite-nos o cálculo dos elementos essenciais do contador, como sejam as resistências R e R' em derivação aos terminais das bobinas de tensão, o valor de L e L', isto é, da auto-indução das bobinas referidas e o valor das capacidades C e C' em série com o conjunto das resistência e das bobinas de tensão. Isto para qualquer dos grupos watimétricos.

O diagrama corresponde ao contador W_2 da fig. 65 e vê-se por êle que, neste caso, as

correntes i_2 e i_3 do circuito de intensidade dos dois grupos medidores está em avanço sôbre a tensão e que, portanto, êste contador se destina à medida da energia capacitiva do do circuito. Para que um tal contador possa medir a energia indutiva basta inverter as ligações aos terminais das bobinas de intensidade e assim darmos uma rotação de 180° aos fluxos das correntes dos circuitos de intensidade, para que os fluxos das mesmas correntes fiquem atrazados em relação à tensão, como mostra, para exemplo, o fluxo $-\Phi_2$ marcado a tracejado no diagrama da fig. 66. O fluxo Φ_3 daria, nas mesmas condições, igual rotação. No primeiro caso o contador marchará num sentido e, no segundo caso, o contador marchará em sentido contrário. A transmissão dos movimentos do rotor ao index total só se fará quando qualquer dos contadores marche no seu sentido normal. Quando houver resonância no circuito de recepção os rotores dos dois contadores ficarão parados. Neste caso só o contador de energia activa transmitirá o seu movimento ao totalizador da energia aparente.

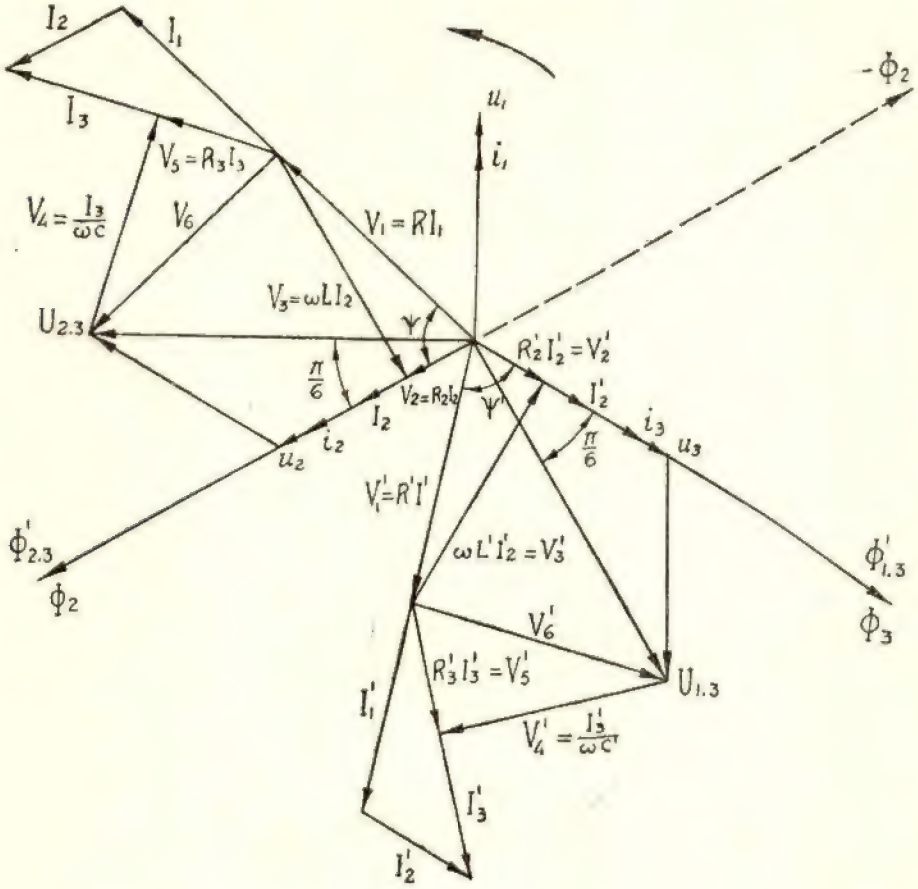


Fig. 66

CÁLCULO DUMA CALDEIRA DE VAPOR

(Conclusão)

POR JOSÉ FARIA DA FONSECA SANTOS

(Do Curso de Engenharia Mecânica)

CAPÍTULO VII

Cálculo do sobreaquecedor

Quantidades já calculadas

$t_{eg} = 805^{\circ}$ c.

$t_{mg} = 707{,}5^{\circ}$ c.

$t_{sg} = 610^{\circ}$ c.

$t_{ev} \cong 200^{\circ}$ c.

$t_{mv} = 275^{\circ}$ c.

$t_{sv} = 350^{\circ}$ c.

$Q_s = 1{:}620.900$ kcal/h

$q_s = 81.800$ »

$Q_{ts} = 1{:}702.700$ »

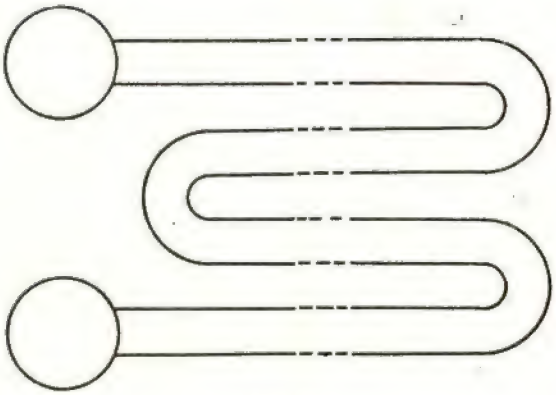


Fig. 4

O esquema do sobreaquecedor (fig. 4) mostra que é formado por serpentinas tendo cada uma quatro voltas, estando as serpentinas duas a duas ao lado uma da outra no mesmo plano e colocadas de modo que os gases incidem normalmente às mesmas.

Usaremos tubos de 50 m/m de diâmetro e tomaremos para comprimento médio de cada trôço 3,5 m, visto estarem segundo a largura da caldeira.

Êste cálculo podia ser feito como o indicado para o aquecedor de ar com as seguintes fórmulas:

Superfície de aquecimento

$$S = \frac{D\left[\frac{\omega}{100} r + c_{pmv}(t_{sv} - t_{ev})\right]}{k\,\theta\,m}$$

em que r é o calor de vaporização de água

c_{pmv} o calor específico médio do vapor entre t_{sv} e t_{ev}

D a produção de vapor.

As outras letras já são nossas conhecidas.

As temperaturas de entrada e saída dos gases estão relacionadas pela fórmula:

$$t_{sg} = t_{eg} - \frac{D}{P}\,\frac{\frac{\omega}{100} r + c_{pmv}(t_{sv} - t_{ev})}{\left(1 - \frac{S}{100}\right) N\, c_{pmv}}$$

e a temperatura média de transmissão será:

$$\theta\, m = \frac{t_{eg} + t_{sg}}{2} - \frac{t_{ev} + t_{sv}}{2}$$

No entanto usaremos os gráficos com vantagem.

Coeficiente de transmissão de calor por convecção dos gases aos tubos

Utilizaremos como variável a superfície de aquecimento.

Do esquema tiramos a secção da caldeira, normalmente ao caminho dos gases; como a largura é de 4 m e o comprimento de 1,4 m, a secção é:

$$S_t = 5{,}6\ m^2$$

A secção ocupada pelos tubos é:

$$S' = 8 \times 0{,}05 \times 3{,}5 = 1{,}4\ m^2$$

A secção de passagem dos gases será:

$$S_p = 4{,}2\ m^2$$

O gráfico N.º 11 dá-nos o volume dos gases à temperatura $t_{mg} = 707{,}5^\circ$ C. $V_{mg} = 24{,}9\ m^3/seg$ a velocidade dos gases é então

$$v_{mg} = 5{,}93\ m/seg$$

O gráfico N.º 16 dá-nos

$$\alpha_B = 28{,}5\ Kcal/m^2.\ h.^\circ\ C.$$

para 10 fiadas ou mais, supondo a temperatura média dos tubos de 350º C.

Coeficiente de transmissão de calor por irradiação dos gases aos tubos

Arbitremos para passo dos tubos t=150m/m

$$S = t - \frac{d}{2} = 125\ m/m$$

Do gráfico N.º 13 vem:

CO^2 $p_1 = 0{,}12$ at. ab. $p_1 s = 15$

$\varphi_1 = 7{,}8$ $C_1 = 8{,}4$ kcal/m². h.º C.

OH^2 $p_2 = 0{,}075$ at. ab. $p_2 s = 8{,}65$

$\varphi_2 = 3{,}5$ $C_2 = 3{,}8$ kcal/m². h.º C.

O coeficiente total de transmissão de calor dos gases aos tubos será:

$$K = \alpha_B + C_1 + C_3 = 40{,}7\ kcal/m^2.\ h.^\circ\ C.$$

Temperatura média de transmissão

$\Delta_g = 805 - 350 = 455$ $\frac{\Delta_k}{\Delta_g} = 0{,}9$ do gráfico 14

$\Delta_k = 610 - 200 = 410$

$$\theta_m = 433^\circ\ C\ .$$

A fórmula atrás escrita dá:

$$\theta_m = 432{,}5^\circ\ C\ .$$

A diferença é desprezível.

Superfície de aquecimento aproximada

$$S = \frac{Q_s}{k\,\theta_m} = 92\ m^2$$

Como cada fiada tem 8 troços de tubo com $3^m{,}5$ de comprimento, a superfície de uma fiada é:

$$S_1 = 8 \,.\, \pi \times 0{,}05 \times 3{,}5 = 4{,}2\ m^2$$

teremos então

$$n = \frac{92}{4{,}2} \simeq 22 \text{ fiadas}$$

Como tem mais de 10 fiadas os coeficientes estão certos.

Não entrámos com o coeficiente de transmissão de calor por convecção dos tubos ao vapor visto que não conhecíamos a velocidade dêste por não sabermos a secção de passagem.

Calculemos a velocidade do vapor

O volume do vapor é:

$$V_v = 15.000\ kg/h \times 0{,}1564\ \frac{m^3}{kgr} = 2319\ m^3/h. =$$

$$= 0{,}6442\ m^3/seg$$

Como vamos dividir as fiadas a meio por o colector de entrada e saída do vapor ser seccionado a meio, a secção de passagem do vapor será:

$$S_p = 22 \times \frac{\pi \times 0{,}04^2}{4} = 0{,}0277\ m^2$$

tendo tomado para diâmetro interior dos tubos 40 m/m. A velocidade do vapor será:

$$v = \frac{0{,}6442}{0{,}0277} = 23{,}2\ m/seg$$

Entrando no gráfico N.º 18 temos o coeficiente de transmissão de calor por convecção dos tubos ao vapor

$$\alpha_2 = 550\ k\,cal/m^2\ h.^\circ\ C.$$

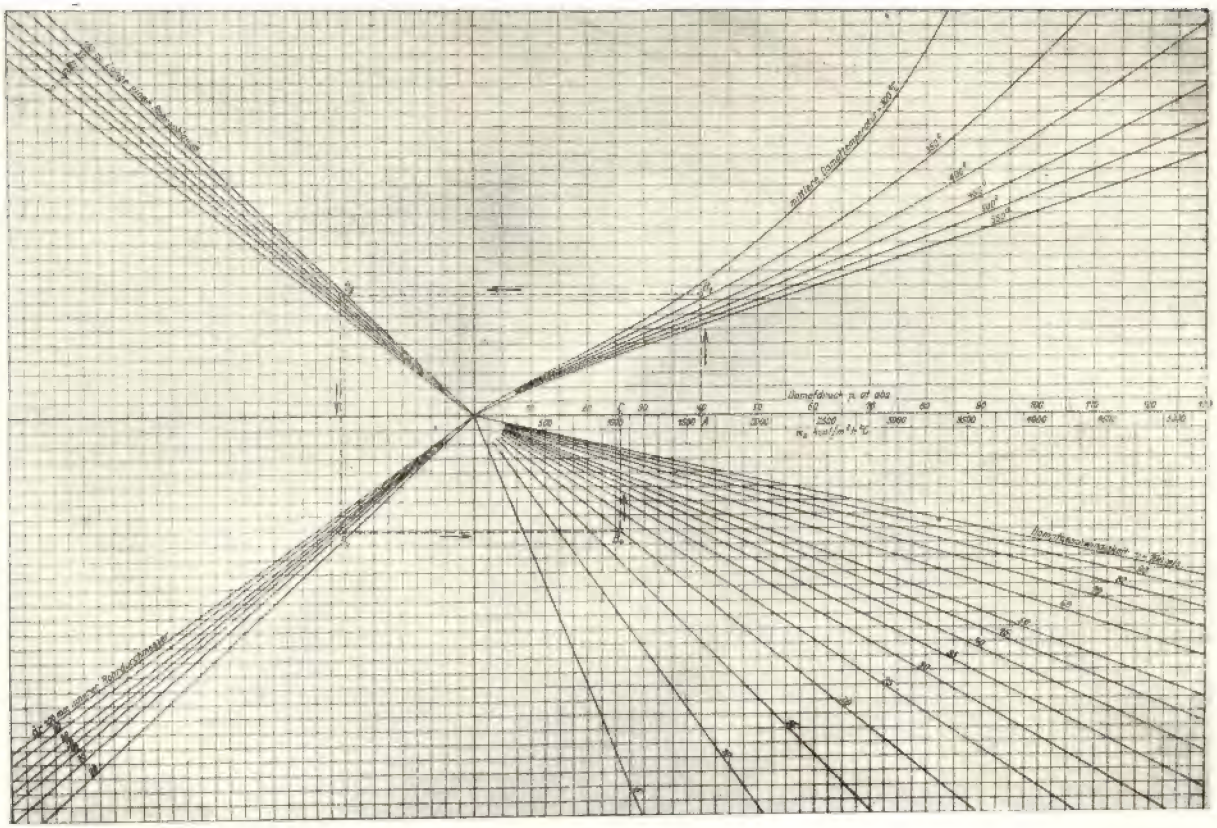


Gráfico 18

O coeficiente de condutibilidade dos tubos é $\lambda = 40$ kcal/m² h.° C. m e a espessura

$$\delta = \frac{0{,}05 - 0{,}04}{2} = 0{,}005 \text{ m}$$

O coeficiente de transmissão total de calor dos gases ao vapor será:

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{k} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}} = 37{,}6 \text{ kcal/m}^2\text{. h.° C.}$$

Desprezando como se costuma sempre fazer, o coeficiente de transmissão por condutibilidade dos tubos, o gráfico n.° 19 dá-nos o coeficiente total de transmissão em função de K e α_2.

Entrando neste gráfico vem:

$$K' \cong 37{,}6 \text{ kcal/m}^2\text{. h.° C.}$$

Vejamos a influência da variação dêste coeficiente na superfície de aquecimento que será agora:

$$s' = \frac{1.620.900}{37{,}6 \times 433} = 99{,}5 \text{ m}^2$$

o que nos dá:

$$n' = \frac{99{,}5}{4{,}2} = 24 \text{ fiadas}$$

Como só o coeficiente de transmissão de calor por convecção dos tubos ao vapor varia com o número de fiadas visto variar a secção de passagem, temos de fazer novos cálculos.

Sendo 24 fiadas a velocidade do vapor será:

$$v = 21{,}3 \text{ m/seg}$$

O gráfico N.° 18 dá $\alpha_2 = 530$ kcal/m² h.° C. e o gráfico N.° 19 dá $K' = 37{,}6$ kcal/m² h.° C. visto não ser sensível a tam pequena variação de α_2.

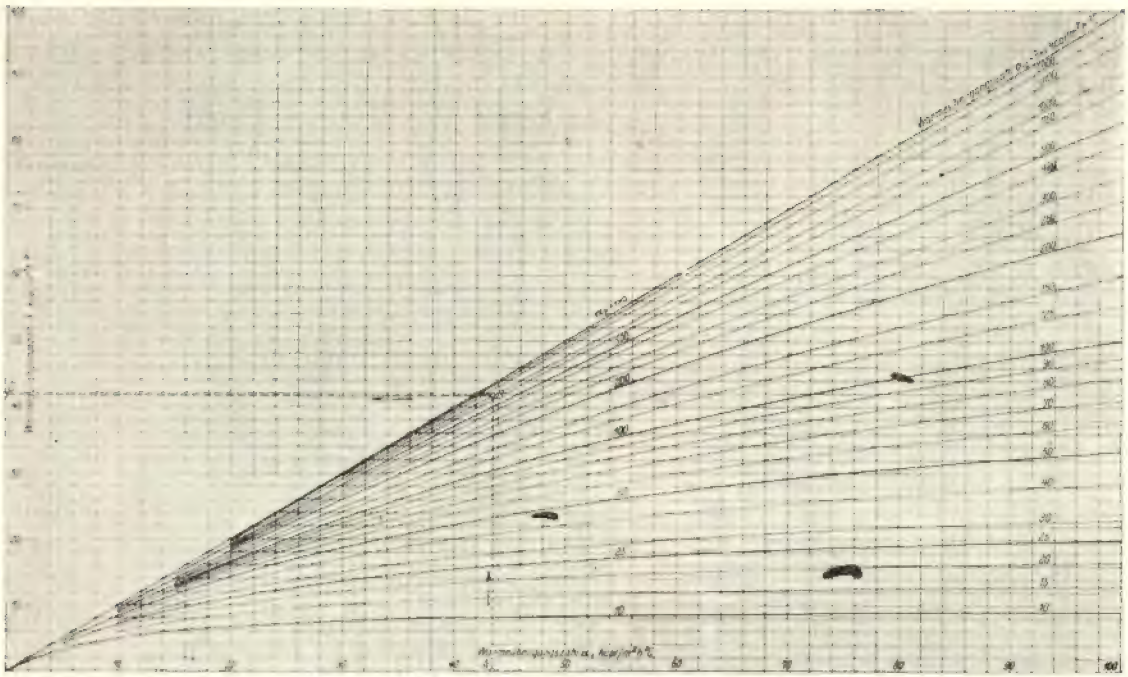


Gráfico 19

CAPÍTULO VIII

Cálculo do 1.º feixe tubular

Valores conhecidos

$t_{sg} = 805^{\circ}$ c.
$t_{ea} = 180^{\circ}$ c.
$t_{sva} = 200{,}3^{\circ}$ c.
$Q_l = 6{:}935.100$ kcal/h.
$q_l = 1{:}632.000$ kcal/h.

O calor transmitido à água tem agora principalmente duas origens: nos gases e na irradiação das paredes e da grelha.

A irradiação das paredes e da grelha para o tubular não pode ser determinada. Também não sabemos qual a quantidade de calor perdida pelos gases ao banhar o tubular, porque não conhecemos a sua temperatura na câmara de combustão.

Esta temperatura pode ser determinada pelo método de Wohlenberg, mas, como êste método supõe a câmara de combustão cúbica e a nossa se afasta muito desta forma, a temperatura não será provàvelmente a exacta.

Daqui resulta a impossibilidade de se determinar com rigor a superfície do primeiro feixe tubular.

Admitimos como certa a temperatura e podemos então calcular a quantidade de calor arrastada pelos gases (Q_g) à saída da câmara de combustão.

Arbitrámos já o calor perdido por irradiação (Q_r) e sabemos qual o calor total do carvão (Q_t).

Vamos supor ainda que as perdas em não queimados nos gases (Q_n), o que é lícito, se dão na câmara de combustão, assim como as não mencionadas (Q_m).

Do calor do carvão ainda há a tirar as perdas nas cinzas (Q_c). O calor total que entra na câmara de combustão é igual ao calor do carvão somado ao calor do ar (Q_a).

Conhecidos todos estes valores o calor transmitido por irradiação das paredes e da grelha ao tubular será:

$$Q_i = Q_t + Q_a - (Q_g + Q_r + Q_n + Q_c + Q_m)$$

ou seja

$$Q_i = 13 : 794.000 \text{ Kcal/h} - Q_g$$

Vamos calcular Q_g a partir da temperatura da câmara de combustão.

Temperatura da câmara de combustão

Façamos em papel milimétrico, à escala, um esquema da câmara de combustão, fig. 5.

Para podermos aplicar o método de Wohlenberg supomos a parte da câmara de combustão 1 2 3 4 5 como cúbica e vamos substituir as superfícies restantes 11'2'2 de modo a podermos fazer esta suposição.

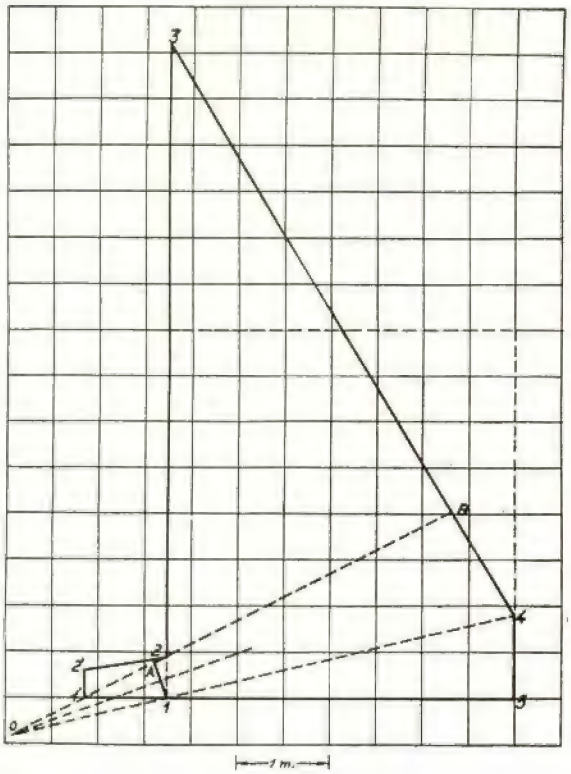


Fig. 5

De todos os pontos da superfície da grelha de 1 a 5 se vê tôda a superfície inferior do tubular, isto é, a superfície resfriada; de 1 a 1' não acontece o mesmo, por isso esta parte da superfície da grelha tem de ser substituída por outra menor, que supuremos ver tôda a superfície resfriada, estando então nas mesmas condições que estaria se a câmara fôsse cúbica.

Para substituir a superfície 11' procuremos qual a parte da superfície resfriada que é vista por todos os pontos da grelha de 1 a 1'. Consegue-se isto unindo 1 com 4 e 1' com 2. Formamos assim o ângulo $B\hat{o}4$; tiramos a sua bissectriz e por 1 uma perpendicular a esta.

A superfície 11' será substituída pela superfície 1 A e a superfície 1'2'2 é substituída por A 2.

Temos agora a câmara de combustão nas condições em que estaria se fôsse cúbica.

Se houvesse outra abóbada no fim da grelha proceder-se-ia da mesma forma assim como para qualquer parte da superfície tubular que não visse tôda a grelha de 1 a 5, assim como para a parte da superfície tubular que estivesse fora da superfície 34.

Temos na fig 6 um exemplo prevendo todos os casos.

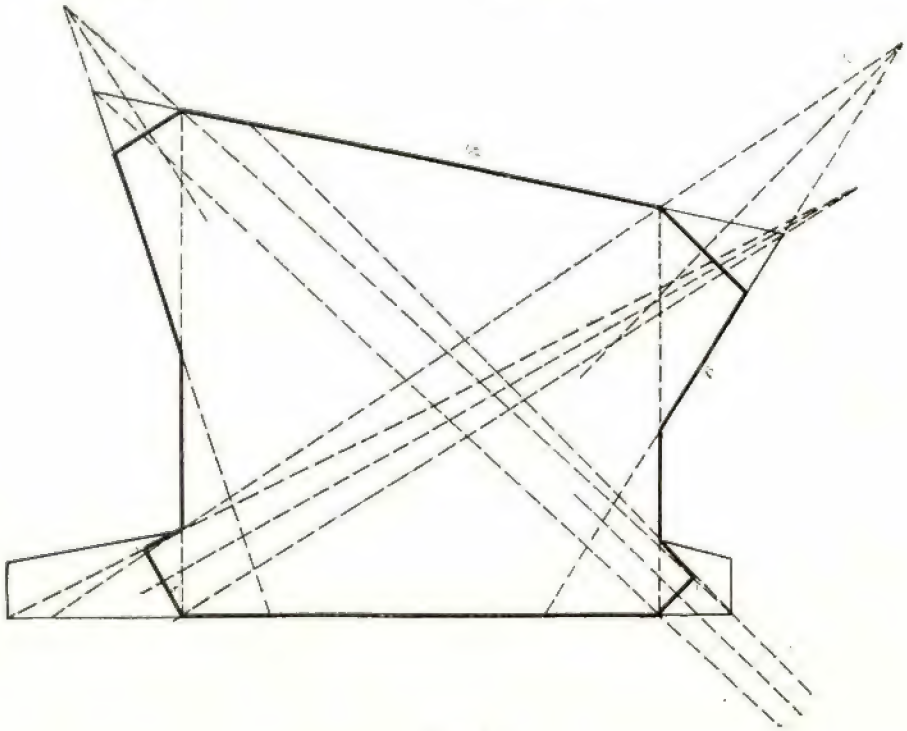


Fig. 6

O CARUNCHO

Esta é a terceira parte de um tratado sôbre o Caruncho e a maneira de o combater pelo processo CUPRINOL

Poria Vaporária — Êste fungo assemelha-se muito ao Merulius mas necessita mais humidade para a sua germinação. Aparece por vezes nas habitações, mas o seu meio favorito são as minas húmidas. Destrói a madeira em cubos tal como faz o *Merulius* e distingue-se dêste pelo seu aspecto, que é esbranquiçado ou côr de nata, sem quaisquer manchas de amarelo ou de lilás. Os seus filamentos nunca são mais grossos que um cordel fino e são secos mas flexíveis. O seu corpo reprodutor é branco e termina por um disco achatado no qual se encontram abundantes e fundos poros, de onde saem os esporos (sementes). A-pesar dêste fungo não ser tão nocivo como o *Merulius,* é no entanto capaz de destruir grandes extensões de madeira nas casas muito húmidas, mas dada a sua avidez de humidade é por isso mais fàcilmente eliminável.

O *PORIA,* sendo de constituïção diferente do *Merulius,* não pode transportar por seus recursos próprios a humidade, da qual depende a sua existência. Por essa razão se fizermos enxugar bem as madeiras, de modo que fiquem livres de humidade, o ataque desta espécie botânica pode ser sustado.

Coniophora Cerebella — O Fungo das Caves — Esta espécie ataca sòmente a madeira molhada e encontra-se especialmente nos sítios onde se produzem infiltrações de água de canos rotos, das chuvas ou dos tubos de circulação de aquecimento. O corpo filamentoso do *Coniophora* nunca é mais grosso do que uma linha dobrada, apresentando primeiramente uma côr amarelo-acastanhada para em seguida se tornar mais escuro até ficar quási prêto. Nunca produz maciços almofadados como os que são produzidos pelo *Merulius,* notando-se uma vez ou outra uma película amarelada sôbre a madeira. A madeira atacada por êste fungo apresenta uma côr acastanhada e abre em rachas longitudinais.

O corpo reprodutor tem uma forma irregular, é de côr azeitonada e coberto por uma película com pequenas excrescências. Raras vezes se observa, excepto nas madeiras rachadas nas matas. Os esporos germinam ràpidamente debaixo de condições favoráveis. Como esta espécie não pode transportar por suas próprias fôrças a água de que necessita, conforme já vimos com o *Merulius,* uma defesa contra êste fungo consiste em secar bem a madeira.

Paxillus Pannoides — O ataque dêste fungo é semelhante ao usado pelo *Coniophora Cerebella.* Ainda que não apareça tão freqüentemente, os seus ataques são por vezes desastrosos em sítios muito húmidos. Os filamentos desta espécie são fibrosos e de uma côr amarelada e também podem mostrar uma pigmentação violeta muito pronunciada.

Logo que esta espécie se manifesta, a madeira apresenta uma côr amarelo-brilhante, escurecendo gradualmente até apresentar um aspecto vermelho escuro ou acastanhado. O corpo reprodutor é macio e tem a configuração de um leque ou de uma concha. A côr de um amarelo sujo. Os esporos estão imbricados em forma de guelras na parte inferior do corpo reprodutor.

Paxillus não é difícil de eliminar. Não resiste ao tratamento antiséptico e, em virtude de êle não poder por seus próprios recursos criar o meio húmido de que depende, o caminho a seguir é secar a madeira para obstar à sua germinação.

Fungos do Exterior — Há diversas variedades de fungos que atacam as madeiras fora das habitações. A maior parte dos troncos das velhas árvores e das lenhas e madeiras expostas ao tempo apresentam-se atacadas de fungos que se alimentam de celuloses e provocam a abertura de fendas longitudinais, termi-

nando por reduzir a madeira à simples condição de serradura. É devido a êste facto que é de tôda a conveniência limpar as matas de tôdas as árvores ou troncos mortos.

Tôdas as madeiras empregadas ao ar livre, em palissadas, tapumes, postes, etc. estão sujeitas ao ataque fungoso, não tardando a cairem por terra destruídas.

As próprias madeiras rijas, tais como o carvalho e o eucalipto, apodrecem tão prontamente como se fôssem madeiras macias.

As duas espécies mais vulgares são as seguintes:

Lentinus Lepideus — Estes fungos encontram-se usualmente nos pavimentos de madeira expostos ao tempo, postes telegráficos e travessas do caminho de ferro (chulipas). Acidentalmente invadem os edifícios onde os vigamentos se encontram saturados de água. Os corpos reprodutores têm a configuração de cogumelos, são rijos e de uma côr acastanhada. Os órgãos onde se produzem os esporos (sementes) ficam na parte inferior do filamento. Os corpos reprodutores raramente se encontram, porque esta espécie propaga-se por crescimento dos seus filamentos, e onde estes filamentos se produzem no escuro êles tomam aspectos verdadeiramente singulares. *Lentinus* é mais freqüentemente encontrado nas madeiras macias.

Polystictus Versicolor — Êste fungo é capaz de produzir grandes estragos nas estâncias de madeiras, sendo especialmente nocivo nas madeiras duras. Encontra-se por vezes nos troncos das velhas árvores. Os corpos reprodutores consistem de numerosos semi-círculos que se estendem horizontalmente uns sôbre os outros, como as têlhas de um telhado, nos ângulos rectos dos troncos. A parte superior consiste em variadas listas de côres diversas. Êste fungo é muito responsável pela maior parte dos estragos que se verificam nas madeiras expostas ao tempo. Quando a madeira se encontra ao ar livre o combate aos seus inimigos não pode ser feito da mesma forma como se combate o caruncho no interior dos edifícios. Palissadas e construções ao ar livre nem sempre se encontram sob rigorosa observação. Em conseqüência disto a madeira começa a apodrecer antes de ter sido notado o ataque.

É portanto indispensável que todos os madeiramentos usados ao ar livre sejam devidamente tratados, quando novos, por meio de um preservativo eficaz, como o **Cuprinol.**

No próximo número indicar-se-há a maneira eficaz de combater o caruncho pelo Processo **Cuprinol.**

Fabricado e patenteado por CUPRINOL, Ld., Bristol - Inglaterra
Distribuído por JENSON & NICHOLSON, Ld., Londres

Distribuidores exclusivos para Portugal e Colónias

Sociedade Robbialac, Limitada

Rua Nova do Carvalho, 15, 1.º—LISBOA—Telef. (P. B. X.) 2 7000

Depositário no PORTO

DROGARIA TIAGO DA COSTA

RUA S. JOÃO, 33 — PORTO

P R E Ç O S

(O galão inglês tem 4,5 litros)

5 galões	330$00
1 galão	77$00
1/2 galão	41$25
1/4 galão	22$00
1/8 galão ou pinta	12$00
1/16 galão ou 1/2 pinta	6$60

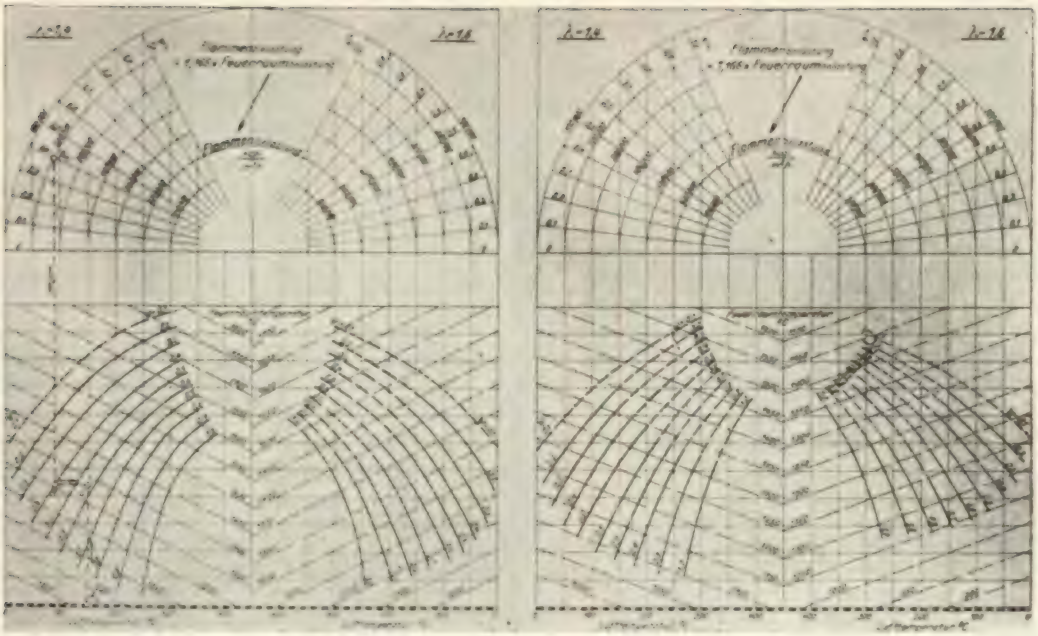


Gráfico 20

Chama-se coeficiente de resfriamento ao valor de cociente entre a superfície resfriada e a superfície total sôbre a qual é irradiado calor.

A superfície resfriada no nosso caso é a $\overline{34} \times L$ sendo L a largura da câmara de combustão.

A superfície total sôbre a qual é irradiado calor é igual a uma das superfícies das paredes laterais com o comprimento da linha quebrada A 2345 multiplicada pela largura da câmara; será pois o coeficiente de resfriamento dado por:

$$\psi = \frac{\overline{34} \times L}{2 \times \text{superf.}\ \overline{1\,A\,2345\,1} + \text{comp.}\ \overline{A\,2345} \times L} = 0{,}272$$

Wohlenberg supõe que as chamas não lambem as paredes e que andam cêrca de 15 cm afastadas delas.

Como supomos a câmara de combustão cúbica, a aresta do cubo que tem volume equivalente ao volume da câmara de combustão é:

$$l = \sqrt[3]{59{,}7} = 3{,}91 \text{ m}$$

A aresta do cubo teórico de combustão será:

$$l_1 = 3{,}91 - 2 \times 0{,}15 = 3{,}61 \text{ m}$$

portanto teremos um volume de chamas:

$$V_1 = 3{,}61^3 = 47 \text{ m}^3$$

O calor das chamas por m³ de câmara de combustão teórica é:

$$B_{fl} = \frac{2800 \times 5829}{47} = 348.000 \text{ kcal/m}^3.\text{h}$$

Os gráficos N.os 20, 21, 22 e 23 dão a temperatura da câmara de combustão em função do coeficiente de resfriamento ψ, da temperatura do ar e do calor das chamas por m³ de câmara de combustão teórica.

O gráfico N.º 20 é aplicável a caldeiras com grelha e os outros para carvão pulverizado, mas aplicáveis também a grelhas.

Todos êles constam de duas partes para poderes caloríficos inferiores do carvão de 2.800 kcal/kg e 6.800 kcal/kg subdivididas ainda em duas partes para excessos de ar de 1,4 e 1,6, para o gráfico N.º 20, e 1,2 e 1,4 para os restantes.

O gráfico N.º 20 refere-se a câmaras de combustão teóricas de aresta de 6 m e os N.os 21, 22 e 23 respectivamente a cubos de 3, 6 e 9 m de aresta.

Como a aresta do nosso cubo é de 3,61 m vamos usar os gráficos N.os 21 e 22 e achar a temperatura da câmara de combustão para carvões com poderes caloríficos de 2.800 kcal/kg e 6.800 kcal/kg e excessos de ar de 1,2 e 1,4. Fazendo uma interpolação gráfica para estar-

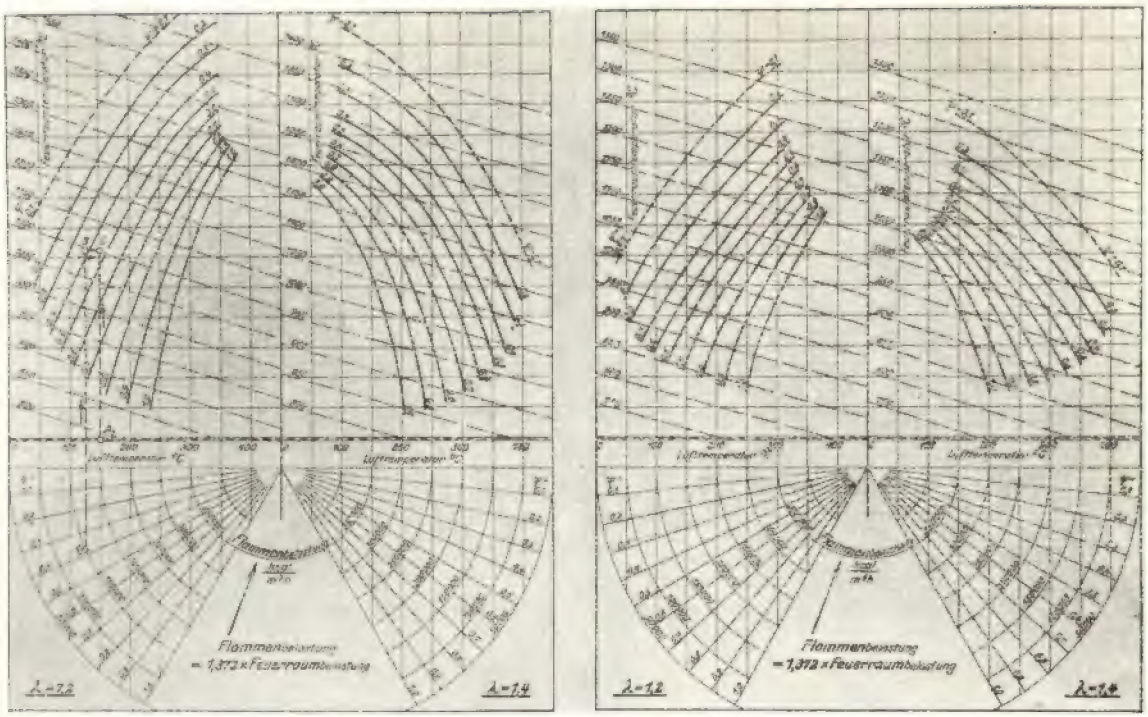


Gráfico 21

mos no nosso caso temos a temperatura da nossa câmara de combustão que é para

$$P_{ci} = 5.829 \text{ kcal/kg} \quad e \quad \lambda = 1,3$$
$$t = 1.365° \text{ c.}$$

conforme se pode verificar pelo gráfico N.º 23-C.

Agora podemos calcular a quantidade de calor que os gases levam à saída da câmara de combustão

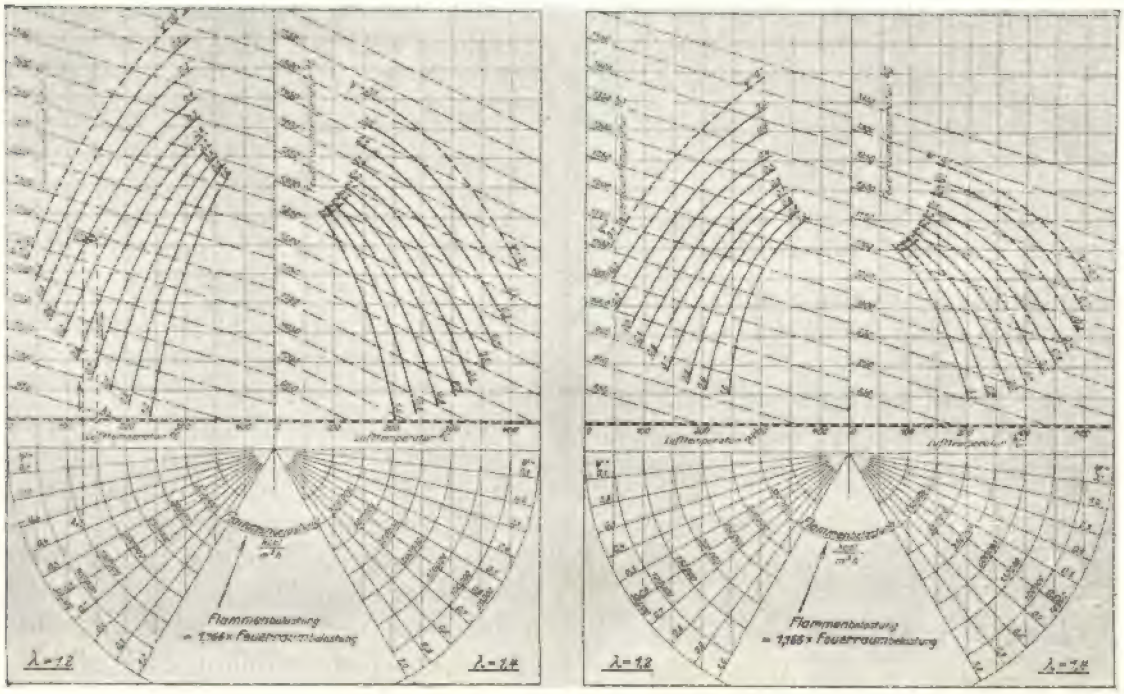


Gráfico 22

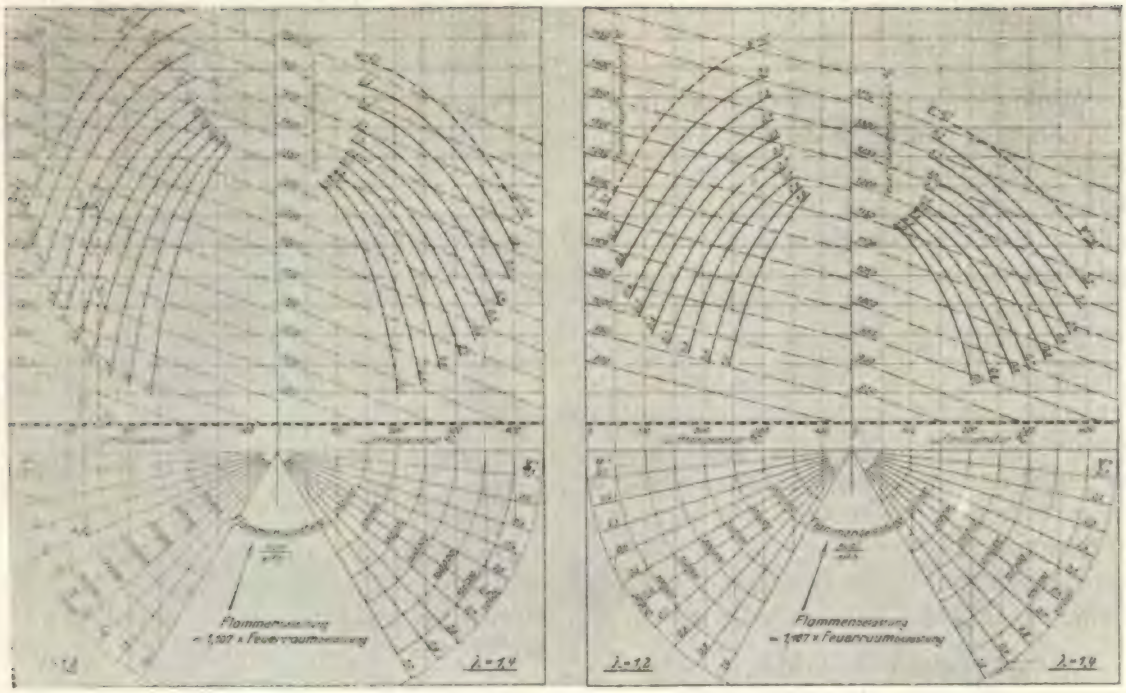


Gráfico 23

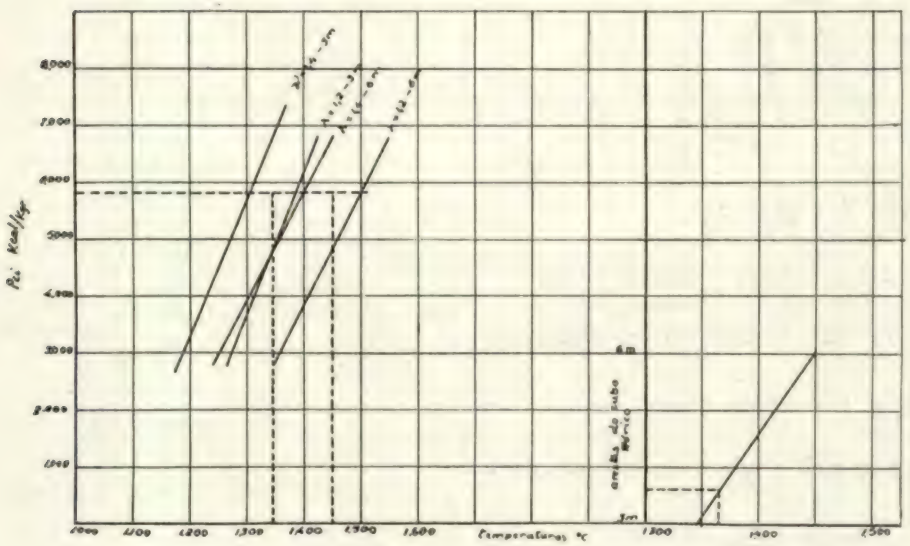


Gráfico 23-A

Dos gráficos N.os 11 e 12 $Q_g = 487 \times 8{,}8 \times$
$\times 2.800 = 11{:}999.680$ kcal/h.

Portanto o calor recebido pelos tubos por irradiação da grelha e das paredes é:

$Q_l = 13{:}794.000 - 11{:}999.680 =$
$= 1{:}794.320$ kcal/h.

A quantidade de calor perdida pelos gases ao atravessar o primeiro feixe tubular será:

$11{:}999.680 - 6{:}858.900 = 5{:}140.780$ kcal/h.

Que terá de ser igual à quantidade de calor que se tem de transmitir ao primeiro feixe menos a recebida por êste devido à irradiação das paredes e da grelha:

$$Q_1 - Q_i = 6{:}935.100 = 1{:}794.320 \text{ kcal/h.} = \\ = 5{:}140.780 \text{ kcal/h.}$$

Do cálculo dos coeficientes de transmissão pode-se chegar à conclusão de que, com a superfície de aquecimento arbitrada e as secções desenhadas nos esquemas, dêles não resulta a quantidade de calor desejada, o que é o mais natural, mas, desde que se ache um valor aproximado podemos dar-nos por satisfeitos, porque êste feixe tubular nunca pode ser calculado com tanto rigor como os outros elementos, visto não se saber ao certo a temperatura da câmara de combustão.

Só, depois de montada a caldeira, se poderá acertar, prevendo a possibilidade de acrescentar ou tirar tubos.

Em resumo temos:

Quantidade de calor a ceder pelos gases

$$Q'_1 = 5{:}140.780 \text{ kcal/h.}$$
$$t_{eg} = 1365^\circ \text{ C.}$$
$$t_{sg} = 805^\circ \text{ C.}$$
$$t_{mg} = 1085^\circ \text{ C.}$$
$$t_{ea} = 180^\circ \text{ C.}$$
$$t_{sa} = 200{,}3^\circ \text{ C.}$$

Suponhamos uma temperatura dos tubos de

$$t_t = 300^\circ \text{ C.}$$

Volume médio dos gases:

Do gráfico 11 $\quad v_{mg} = 34{,}2 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Secção média da câmara do esquema da caldeira:

$$S_1 = 4 \times 2{,}25 = 9 \text{ m}^2$$

Secção ocupada pelos tubos: como esta secção é elíptica

$$s_2 = \pi a b n = \pi \times \frac{0{,}07}{2} \times \frac{0{,}08}{2} \times 112 = 0{,}493 \text{ m}^2$$

sendo n o número de tubos e $\pi a b$ a secção de cada um.

Secção média de passagem dos gases

$$s_n = s_1 - s_2 = 8{,}507 \text{ m}^2$$

Velocidade média dos gases

$$v_m = \frac{34{,}2}{8{,}507} = 5{,}2 \text{ m/seg}$$

Coeficiente de transmissão de calor por convecção dos gases aos tubos

O gráfico N.º 15 dá para $t = 2{,}4$

$$\alpha_B = 7{,}5 \text{ kcal/m. h.}^\circ \text{ C.}$$

Como o coeficiente de correcção é:

$$x = 1{,}07$$

$$\alpha'_B \cong 8 \text{ kcal/m}^2\text{. h.}^\circ \text{ C.}$$

Coeficiente de transmissão de calor por irradiação dos gases aos tubos.

Do gráfico N.º 13

CO^2 $p_1 s = 12{,}92$ $\varphi_1 = 5{,}6$ $C_1 = 11{,}2$ kcal/m².h.ºC.
OH^2 $p_2 s = 8{,}07$ $\varphi_2 = 2{,}2$ $C_2 = 4{,}3$ kcal/m².h.ºC.

Coeficiente total de transmissão de calor

$$k = \alpha'_B + C_1 + C_2 = 23{,}5 \text{ kcal/m}^2\text{.h.}^\circ\text{C.}$$

A superfície de aquecimento arbitrada para êste feixe tubular é:

$$S_1 = 177{,}6 \text{ m}^2$$

Temperatura média de transmissão

$\Delta_g = 1365 - 180^\circ = 1.185$ $\quad \frac{\Delta_k}{\Delta_g} = 0{,}51$ do gráfico 14.
$\Delta_k = 805 - 200^\circ = 605$

$$\vartheta_m = 860^\circ \text{ C.}$$

A quantidade de calor que os gases perderiam assim era:

$$Q = 23{,}5 \times 177{,}6 \times 860 \cong 3{:}580.000 \text{ kcal/h.}$$

Quantidade de calor inferior à que os gases devem perder portanto saem a uma temperatura superior a 805º C. o que não convém por ir alterar os cálculos feitos anteriormente.

Temos portanto de aumentar o número de tubos.

Suponhamos 6 fiadas de tubos em vez de 4. Apenas poderá variar o coeficiente de trans-

missão de calor por convecção dos gases aos tubos, pois que a velocidade dos gases varia.

Agora vem

$$v'_{mg} = 5{,}22 \text{ m/seg}$$

o que não faz variar o coeficiente de transmissão; isto é: o gráfico não é sensível a esta variação de velocidade.

Visto os coeficientes de transmissão não terem variado com esta mudança de 4 para 6 fiadas de tubos, vamos calcular a superfície de aquecimento de modo que os gases transmitam ao tubular a quantidade de calor fixada:

$$S = \frac{Q'_1}{K\,\theta_m} = \frac{5{:}140.780}{23{,}5 \times 860} = 254 \text{ m}^2$$

Como cada tubo tem uma superfície

$$s = \pi \times 0{,}07 \times 7{,}2 = 1{,}585 \text{ m}^2$$

o número de tubos será: $n = 160$ tubos.

Cada fiada tem 28 tubos, portanto temos de empregar 5 fiadas de 28 tubos e uma de 20.

Será esta fiada incompleta a modificada quando da instalação da caldeira se a temperatura da câmara de combustão atingir valores muito diferentes da determinada.

Podemos ainda fazer uma verificação da temperatura da câmara de combustão, calculando o cociente entre o calor recebido pelo tubular por irradiação das paredes e da grelha e a superfície de arrefecimento projectada, cociente que deve ter um valor aproximado de 150.000 Kcal/m²h.

No nosso caso teremos

$$K = \frac{1{:}794.320 \text{ Kcal/h.}}{15 \text{ m}^2} \simeq 120.000 \text{ kcal/m}^2\text{ h.}$$

Portanto a temperatura da câmara de combustão não deve ser muito diferente da calculada.

Nota: O rendimento da caldeira pode ser calculado em função do poder calorífico superior ou de inferior, dando respectivamente os valores:

$$\frac{11{:}016.000}{17{:}010.000} = 64{,}75\,\%$$

e

$$\frac{11{:}016.000}{16{:}321.200} = 67{,}5\,\%$$

Tendo considerado como rendimento o cociente entre o calor total aproveitado e o calor total desenvolvido.

Na prática o carvão não desenvolverá nem a quantidade de calor 6075 kcal/kgr, nem a de 5829 kcal/kgr, mas sim um valor intermédio a que se poderá chamar o poder calorífico real nas condições da combustão e a que corresponderá um rendimento real cujo valor está entre os achados.

Podemos pois apenas afirmar que o rendimento da nossa caldeira está entre os limites:

$$64{,}75\,\% < \eta < 67{,}5\,\%$$

VIDA ESCOLAR E ASSOCIATIVA

Secção Cultural

A S. C. ensaia os seus primeiros passos; êles são de início hesitantes e fracos como quem tacteia e apalpa o terreno.

Êste princípio de vida é sempre difícil e difícil de ultrapassar: as dificuldades surgem e há que removê-las.

A S. C. reconhece a necessidade de uma melhor formação do engenheiro, quer como técnica, quer como cultura geral e formação moral.

Como técnica — Pelo estudo de obras recentemente realizadas, de assuntos mais desenvolvidos e especializados, de recentes descobertas e novidades técnicas, etc.

Pelo contacto mais íntimo com engenheiros já lançados na vida e que os orientem. Acompanhamento de realizações de obras de vulto onde os alunos possam tomar maior contacto com as subtilezas da sua futura profissão.

Em resumo, tornar mais úteis e verdadeiros os tirocínios, pois é aí que se começarão a sentir as realidades da vida.

Como cultura geral — Considerando que o engenheiro não vai exercer uma profissão destinada, na grande maioria dos casos, a fazer ùnicamente cálculos e à realização teórica dos seus projectos, mas sim a realizá-los de facto, o que não conseguirá sòmente com conhecimentos puramente técnicos.

A adaptabilidade da teoria à prática, o lidar, dirigir e orientar subordinados, nomeadamente operários, o conhecimento do estado geral dos seus homens e da psicologia humana, são factores fundamentais para o êxito duma obra e duma emprêsa.

Um extraordinário bom senso e sentido das realidades são qualidades que o engenheiro tem que possuir em alto grau e que só se adquirem com a educação interior dada por meio de cultura geral variada.

Nunca nos podemos esquecer que quási sempre o engenheiro vai desempenhar um lugar social como dirigente e as suas responsabilidades como tal são tão graves ou mais do que a sua insuficiência técnica.

Reconhecidos pela S. C. estes factos e estas necessidades, ela tem de início uma missão a cumprir: fazer compreender, e interessar os alunos por estas verdades e despertar-lhes a atenção.

Em segundo lugar dar os meios e possibilidades de se sair dêste estado de coisas.

Até agora a S. C. tem procurado sentir a reacção dos alunos postos perante estes factos e procurado um pouco de orientação nos engenheiros e seus professores. São estes os que melhor que ninguém podem dizer as dificuldades com que lutaram, se as tiveram, quando entraram na vida, de que foram provenientes e quais as causas. Então os engenheiros recentemente formados terão certamente interessantes verdades a contar-nos.

A S. C. neste período de formação está lançando as bases da sua vida futura e procurando saber como melhor poderá agir, com o que e com quem pode contar, e baseada neste período experimental concretizar-se-á no próximo ano lectivo e começará a trabalhar em pleno.

Uma das maiores, senão a maior dificuldade que o aluno do I. S. T. encontra para se dedicar a quaisquer outros trabalhos que não sejam o habitual forçado e obrigatório estudo da matéria para satisfazer aos exames, é a falta de tempo.

Esta é o terrível «papão» do estudante do nosso Instituto. Ela consegue destruir quási tôdas as aspirações; a super-abundância de aulas rouba todo o tempo ao aluno, que até mesmo à matéria versada nas aulas desejava dedicar-se um pouco mais detalhadamente, quanto mais ao que se interessa por assuntos que à primeira vista possam parecer estranhos ao futuro exercício da sua profissão, mas que têm de se considerar como fazendo parte integrante da vida do homem.

Estabeleceu-se em princípio da formação de sub-secções sempre que houvesse quem

se interessasse por um determinado assunto e se reconhecesse a vantagem e necessidade de tal criação.

Assim, começou-se já trabalhando em:

a) *Organização duma Biblioteca;*
b) *Estudo e propaganda colonial;*
c) *Intercâmbio com outras Faculdades nacionais e ertrangeiras;*
d) *Formação de cursos de línguas;*
e) *Organização de concertos musicais;*
f) *Sessões cinematográficas;*
g) *Edição de fôlhas pela Associação dos Estudantes;*
h) *Realização de conferências quer de ordem técnica quer de ordem geral;*
i) *Realização de cursos ou palestras de questões morais e sociais.*

Grupo Desportivo - Secção de Xadrez

No I Torneio de Xadrez de Lisboa por équipes terminado no mês de Maio p. p., conseguiu a équipe representativa da nossa Associação, classificar-se merecidamente em segundo lugar, após o Sport Lisboa e Bemfica e à frente do Sporting Club de Portugal, Estoril Plage, G. D. da Vacuum Oil Company, G. D. e R. da Companhia Industrial Portugal e Colónias, Instituto Britânico e A. A. da Faculdade de Direito de Lisboa.

Êste resultado, aparentemente banal, é no entanto digno de nota se atendermos a que pelo Técnico alinharam apenas alunos — o que é natural — mas alunos cujos conhecimentos xadrezistas foram desenvolvidos por intermédio da nossa secção de xadrez, enquanto que as restantes équipes apresentaram mestres nacionais e estrangeiros e a maioria dos jogadores consagrados da capital.

Esta classificação, que teve grande repercussão nos meios xadrezistas, vem-nos animar a prosseguir na divulgação dêste nobre jôgo, sem dúvida o mais indicado para futuros engenheiros.

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

Radioactivité et Transmutations des atomes

Par THÉODORE KAHAN
Préface de L. DE BROGLIE
Armand Colin, Paris, 1940 - 15 frs.

O autor apresenta-nos neste livro a história do extraordinário desenvolvimento da Física nuclear nas últimas décadas e os resultados adquiridos hoje em dia neste domínio.

Com clareza e precisão notáveis expõe-nos um quadro detalhado das teorias provenientes das investigações realizadas, das mais antigas às contemporâneas. Estas últimas são pormenorizadamente descritas, bem como a sua audaciosa interpretação teórica.

Em tempo em que a investigação e exploração de tôdas as fontes de energia se tornou questão vital, êste livro mostra o imenso interêsse prático que tem o problema da desintegração da matéria, em razão das quantidades prodigiosas de energia dela provenientes e que são, porventura, captáveis e utilizáveis, bem como das aplicações médicas da Radioactividade, expontânea ou artificial.

PUBLICAÇÕES RECEBIDAS

Publicações não periódicas

PORTUGAL

O regimen jurídico da exploração das águas subterrâneas em Portugal — por Octávio de Brito — Separata do Boletim n.º 15, da Comissão de Fiscalização das Obras de Abastecimento de Água à Cidade de Lisboa.

Não vivemos para cultivar o ódio — Armando Cândido — Conferência realizada no Salão Nobre da Câmara Municipal da Praia da Vitória, aos 24 de Março de 1939.

A semelhança em hidráulica – por António A. G. Teixeira Rêgo – Separata da Revista da Faculdade de Engenharia.

BRASIL

Boletim Técnico da Secretaria de Viação e Obras Públicas — Set. de 1939.

SUÍÇA

Relais Brown Boveri — 1543 F-XI. (II 30).

Publicações periódicas

PORTUGAL

AGROS — Jan.-Fev. de 1940.

A ARQUITECTURA PORTUGUESA E CERÂMICA E EDIFICAÇÃO — Março de 1940.

A INDÚSTRIA DO NORTE — Mar.-Abril de 1940.

BOLETIM DA ORDEM DOS ENGENHEIROS — Maio de 1940.

BOLETIM DA JUNTA NACIONAL DE CORTIÇA — Abril de 1940.

BOLETIM DA SOCIEDADE DE GEOGRAFIA — Jan.-Fev. de 1940.

BROTÉRIA — Abril e Maio de 1940.

CLÍNICA, HIGIENE E HIDROLOGIA — N.º 4, Abril de 1940.

ESTUDOS — REVISTA DE CULTURA E FORMAÇÃO CATÓLICA — Fas. 3 de 1940-Fasc. 4 de 1940.

GAZETA DOS CAMINHOS DE FERRO — N.os 1256, 1257, 1258 e 1259 de 1940.

GIL VICENTE — N.os 3 e 4, Mar.-Abril de 1940.

INDÚSTRIA PORTUGUESA — Abril-Maio de 1940.

MEDICINA — Março de 1940.

O SOLDADOR-CORTADOR — N.º 1, Jan.-Fev. e N.º 2, Mar.-Abril de 1940.

OCIDENTE — N.º 25, Maio de 1940.

RÁDIO-MOÇAMBIQUE — Março de 1940.

REVISTA DA FACULDADE DE ENGENHARIA — N.º 2, Abril de 1940.

REVISTA AGRONÓMICA — Vol. XXVI, 1938-4 — Vol. XXVII, 1939-1.

REVISTA DE ARTILHARIA — N.º 178, Março-Abril e N.º 179, Maio de 1940.

REVISTA DOS CENTENÁRIOS — N.º 16, Abril de 1940.

REVISTA OFICIAL DO SINDICATO NACIONAL DOS ARQUITECTOS — N.º 12, Jan.-Abril de 1940.

SEARA NOVA — N.os 663, 664, 665, 666, 667, 668, de 1940.

ARGENTINA

INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACION DE MATERIALES — Fev. e Março de 1940.

BRASIL

BOLETIM DA REPARTIÇÃO DE ESGOTOS — Mar. de 1940, N.º 9.

BOLETIM DE INFORMAÇÕES — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND — N.º 38, de 1940.

REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHRIA — Jan. e Fev. de 1940.

CHILE

REVISTA DE CAMINOS — Jan. de 1940.

FRANÇA

REVUE DU NICKEL — N.º 2, Mar.-Abril de 1940.

LA TECHNIQUE SANITAIRE ET MUNICIPALE — Mar.-Abril e Maio de 1940.

HUNGRIA

TECHNIKA — N.º 5, de 1940.

ITALIA

ANNALI DEI LAVORI PUBLICI — Fev. de 1940-Fasc. n.º 2 — Março de 1940-Fasc. n.º 3.

L'ELECTROTECNICA — N.º 8, Abril de 1940 — N.º 9, Março de 1940.

L'INGEGNERE — N.º 4, de 1940, N.º 5 de 1940.

INGLATERRA

BRITAIN TO-DAY — N.º 26, Abril de 1940.

SUÉCIA

ASEA-REVUE — N.º 3, Maio de 1940.

ASEA JOURNAL — N.º 3, Março de 1940.

SUÍÇA

REVUE BROWN BOVERI — N.os 1-2-3 — Jan., Fev e Mar. de 1940.

SULZER — N.º 1 de 1949.

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA, DOS ALUNOS DO I. S. T.

DIRECTOR: MANUEL DUARTE GASPAR

ADMINISTRADOR: CARLOS KRUS ABECASIS

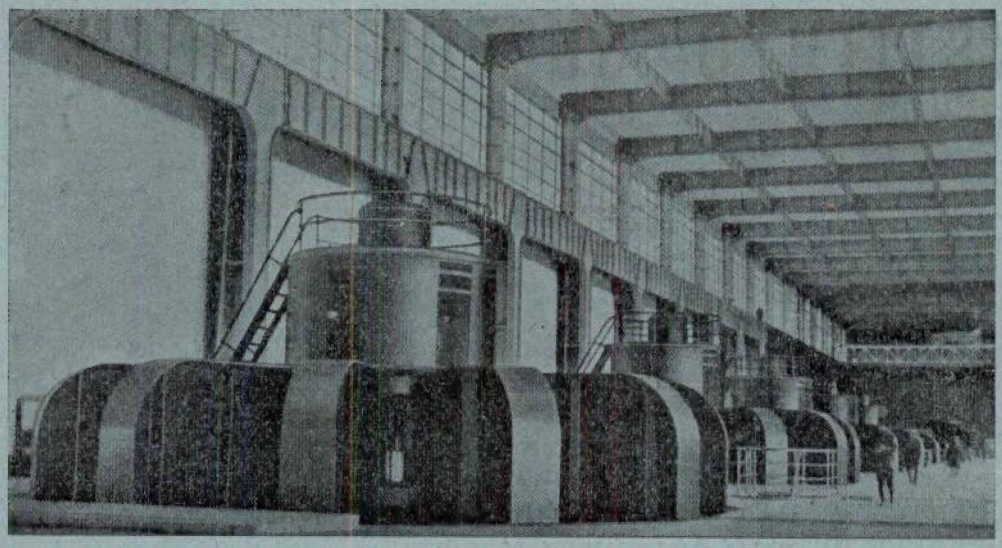
BIBLIOTECÁRIO: NUNO ABRANTES

CORPO REDACTORIAL: SEBASTIÃO MURTEIRA, FRANCISCO MARQUES MAIA, VASCO MENDES DE SOUSA

Propriedadee Edição da A. E. I. S. T.

GENERAL ELECTRIC

Schenectady, N. Y.



Central hidroeléctrica com 5 geradores General Electric de 77.500 kVA 88 r. p. m. cada um

Motores e dínamos. Alternadores. Transformadores. Aparelhos para alta e baixa tensão. Centrais termo e hidroeléctricas. Electrificação de fábricas. Tracção eléctrica. Máquinas para soldadura eléctrica. Automotoras Diesel-Eléctricas. Turbinas de vapor. Máquinas frigoríficas. Aparelhos de iluminação. Instrumentos de medida. Comandos eléctricos especiais para fábricas téxteis, fábricas de papel, etc.

THOMSON
GENERAL ELECTRIC

Portuguesa, L.da

LISBOA
Rua do Norte, 5

Telef. 28135-28136

OFICINAS E LABORATÓRIOS

DO

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

EMPRÊSA DE SONDAGENS E FUNDAÇÕES, L.DA

COM

Eng. Ricardo E. Teixeira Duarte

(um quarto de século de especialização técnica)

Sondagens geológicas

—

Poços artezianos

—

Rebaixamentos do nível freático

—

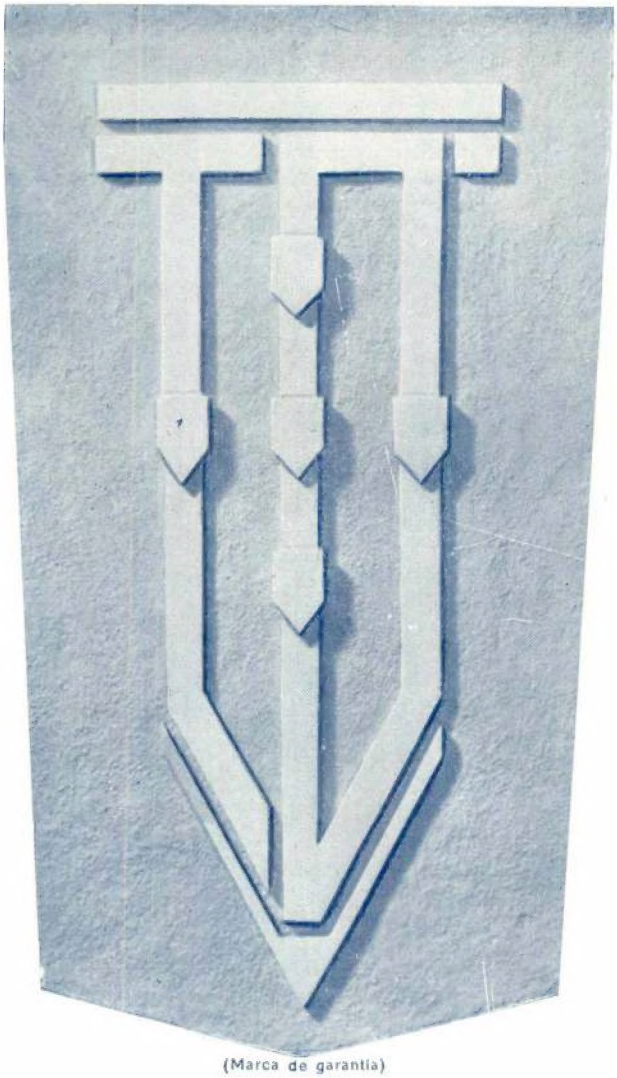
Consolidações do solo

—

Impermeabilização de rochas

—

Captações de água subterrânea



(Marca de garantia)

Fundações de todos os géneros

—

Alicerces económicos

—

Estacas de todos os tipos

—

Consolidação de más fundações

—

Obras hidráulicas

—

Obras subterrâneas

LISBOA — RUA AUGUSTA, 280, 3.º E 4.º

TELEFONE 2 3962

SOCIEDADE ANÓNIMA

BROWN, BOVERI & CIE.

BADEN (SUISSA)

Representante geral para Portugal e Colónias:

EDOUARD DALPHIN

Escritório Técnico: Rua de Passos Manuel, 191, 2.º // PORTO // Tel. 2411

Máquinas eléctricas, transformadores, mutadores, aparelhos para alta e baixa tensão. Montagem completa de centrais termo e hidro-eléctricas. Electrificação de fábricas e de caminho de ferro. Locomotivas, e auto-motoras eléctricas e Diessel-eléctricas. Máquinas de extracção. Turbinas a vapor. Geradores de vapor Velox. Máquinas frigoríficas. Grupos e transformadores para a soldadura pelo arco. Fornos eléctricos. Comandos eléctricos especiais para tôdas as máquinas utilizadas nas Fábricas de Fiação, Tecelagem, Acabamentos, Estamparia, Cimento, Moagem, etc.

Barragem do Ermal, da Companhia Electro-Hidráulica de Portugal, com 20 milhões de metros cúbicos de capacidade da albufeira. Na parte central, duas comportas automáticas, da casa construtora «Ateliers des Charmilles», de 9 × 5 metros, para a evacuação das cheias. Em baixo, a central automática de Guilhofrei (I) com uma turbina vertical tipo Kaplan (Ateliers des Charmilles) de 2750 cavalos e o canal de condução da água à central do Ermal (central II) com uma turbina vertical tipo Francis de 6250 cavalos (Ateliers des Charmilles) e duas horizontais (Escher-Wyss) de 500 e 1500 cavalos. Tôda a parte eléctrica (alternadores, transformadores, aparelhos de 2000 e 30000 Volts) da casa BROWN, BOVERI & Cie.